



COMUNE DI COLOGNOLA AI COLLI
PROVINCIA DI VERONA

SETTORE SERVIZI TECNICI - EDILIZIA PUBBLICA

PROGETTO NUOVA SCUOLA PRIMARIA



raggruppamento temporaneo di imprese

mandataria:



mandante:



Claudio Lucchin &
Architetti Associati

mandante:



BARANA
engineering

GEOLOGIA GEOTECNICA

DOTT.SSA GEOL. NICOLETTA TOFFALETTI

via G.Marconi 21-37042 Caldiero (VR) - tel. 045 615 21 73 - geonito@libero.it

RELAZIONE GEOLOGICA

scala

data

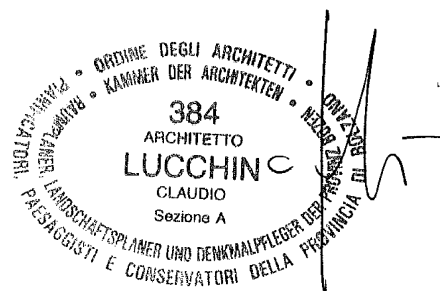
n°elaborato

OTTOBRE 2010

GE 03-01-01

GE01

Responsabile di progetto
Arch. Lauro Motta - GIRPA s.p.a.



Timbri, firme

REGIONE DEL VENETO

PROVINCIA DI VERONA

COMUNE DI COLOGNOLA AI COLLI

*Lavori di costruzione della nuova Scuola Primaria
in Via Naronchi*

RELAZIONE GEOLOGICA

(D.M. 14 gennaio 2008 - § 6.2.1 NTC)



dr.ssa geol. NICOLETTA TOFFALETTI

COMMITTENTE: **COMUNE DI COLOGNOLA AI COLLI**
Determina Dirigenziale n. 84/24.05.2010

DATA: 13 settembre 2010

La legge sui diritti d'autore (22/04/41 n° 633) e quella istitutiva dell'Ordine Professionale dei Geologi (03/02/63 n° 112) vietano la riproduzione ed utilizzazione anche parziale di questo documento, senza la preventiva autorizzazione degli autori.

Indice

1	INTRODUZIONE.....	1
1.1	PREMESSA.....	1
1.2	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO DI PROGETTO	2
2	IL CONTESTO GEOLOGICO	5
2.1	GEOMORFOLOGIA.....	6
2.2	IDROGEOLOGIA	8
3	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO.....	11
3.1	PROVE IN SITO E DATI GEOLOGICI BIBLIOGRAFICI.....	11
3.2	PROFILO LITOSTRATIGRAFICO.....	13
3.3	PROPRIETÀ IDROGEOLOGICHE	16
3.4	PROPRIETÀ GEOTECNICHE	17
3.5	CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	18
4	PIANO DELLE INDAGINI E DELLE PROVE GEOTECNICHE	23
5	CONCLUSIONI	25
	ALLEGATI.....	II

1 Introduzione

1.1 Premessa

Per conto dell'Amministrazione Comunale di Colognola ai Colli (Determina del Responsabile del Settore Servizi Tecnici / Edilizia Pubblica n. 84/24.05.2010), con sede a Colognola ai Colli (VR) Piazzale Trento n. 2, è stato eseguito uno studio tecnico - geologico preliminare a supporto dei lavori di costruzione della nuova Scuola Primaria in Via Naronchi nel settore centrale del territorio comunale.

In ottemperanza a quanto disposto dal **D.M. 14 gennaio 2008 “Norme tecniche per le costruzioni”**, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008 ed entrato in vigore il

1 luglio 2009 e facendo riferimento alla **Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 617 del 2 Febbraio 2009**, contenente le istruzioni per l'applicazione delle nuove NTC, il presente elaborato si configura come **Relazione Geologica ai sensi del Paragrafo 6.2.1 "Caratterizzazione e modellazione geologica del sito" delle Norme Tecniche per le Costruzioni.**

In affiancamento al Progetto Preliminare della nuova Scuola Primaria e ai fini di un corretto inquadramento dei problemi geotecnici locali, il presente studio geologico è stato quindi eseguito al fine di:

- ricostruire i caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio oggetto di intervento e di un suo adeguato intorno;
- documentare la ricostruzione del modello geologico che, in funzione del tipo di opera e della complessità del contesto geologico, può essere supportata da specifiche indagini;
- definire il programma delle indagini e delle prove geotecniche per le successive fasi di elaborazione del progetto.

Criterio di analisi per la definizione delle suddette finalità, è stata l'indagine sul territorio delle caratteristiche geomorfologiche, geologiche e idrogeologiche; in situ, a causa della limitata accessibilità dell'area di intervento, attualmente privata e destinata alla coltura del vigneto, si è proceduto all'esecuzione di una indagine di sismica passiva (non invasiva dei luoghi), per poter verificare la variabilità laterale del sottosuolo locale e per poter correttamente individuare il piano delle indagini e delle prove geotecniche; con l'ausilio dei dati acquisiti dall'analisi bibliografica, si è quindi proceduto all'elaborazione dei dati geologici e alla ricostruzione del modello geologico del sito.

1.2 Descrizione dell'intervento di progetto

L'Amministrazione Comunale di Colognola ai Colli intende procedere alla costruzione di una nuova Scuola Primaria, attualmente oggetto di progettazione preliminare. Il nuovo fabbricato verrà ubicato sul fondovalle inferiore della Val d'Illasi presso la Frazione Decima - località Naronchi, nel settore centrale del territorio comunale di Colognola ai Colli, a fianco dell'esistente polo scolastico / sportivo comunale (cfr. Figure 1 e 2); l'area di intervento, censita al Foglio XV° - M.N. 579 (parte) del catasto terreni comunale, è attualmente privata e destinata alla coltura del vigneto.

RELAZIONE GEOLOGICA

Figura 1 - Corografia dell'area di intervento
(estratto della Sezione n. 124150 "SOAVE"
della CARTA TECNICA REGIONALE ALLA SCALA 1:10.000)

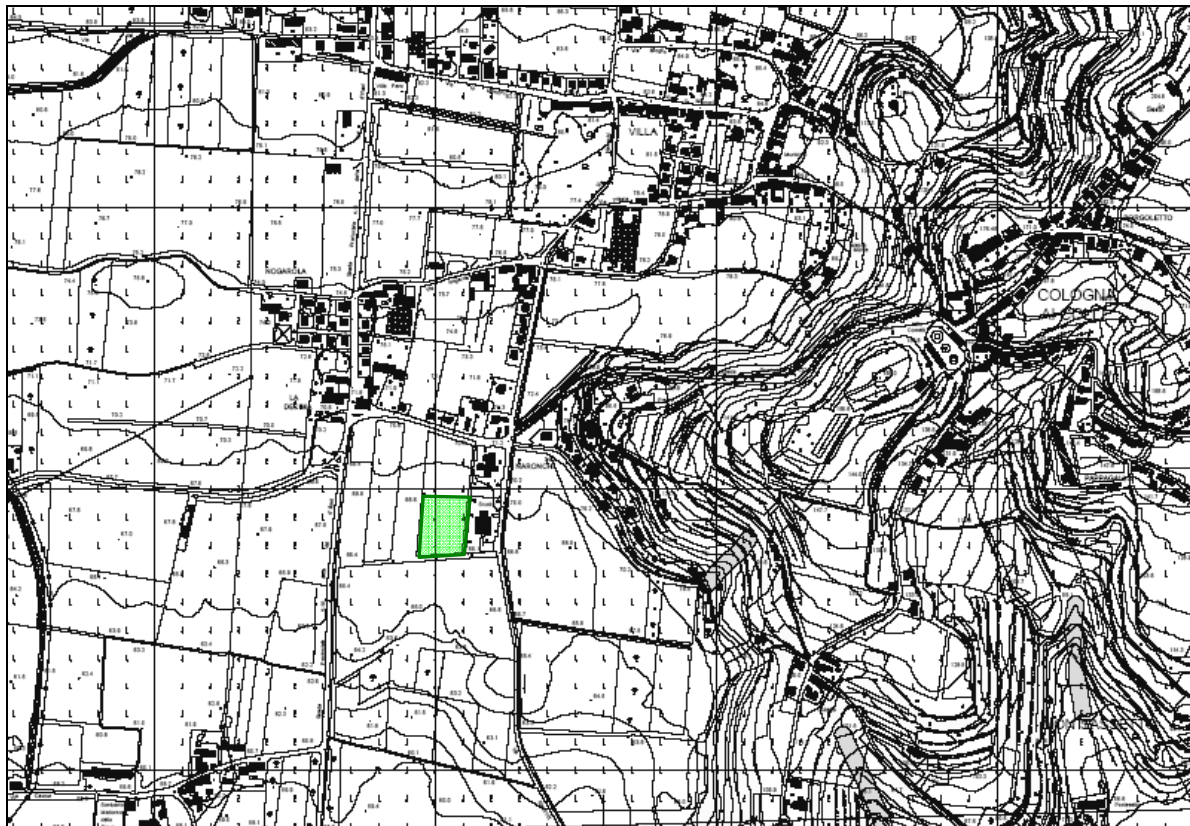


Figura 1 - Foto satellitare dell'area di intervento
(fonte: <http://www.visual.paginebianche.it/>)

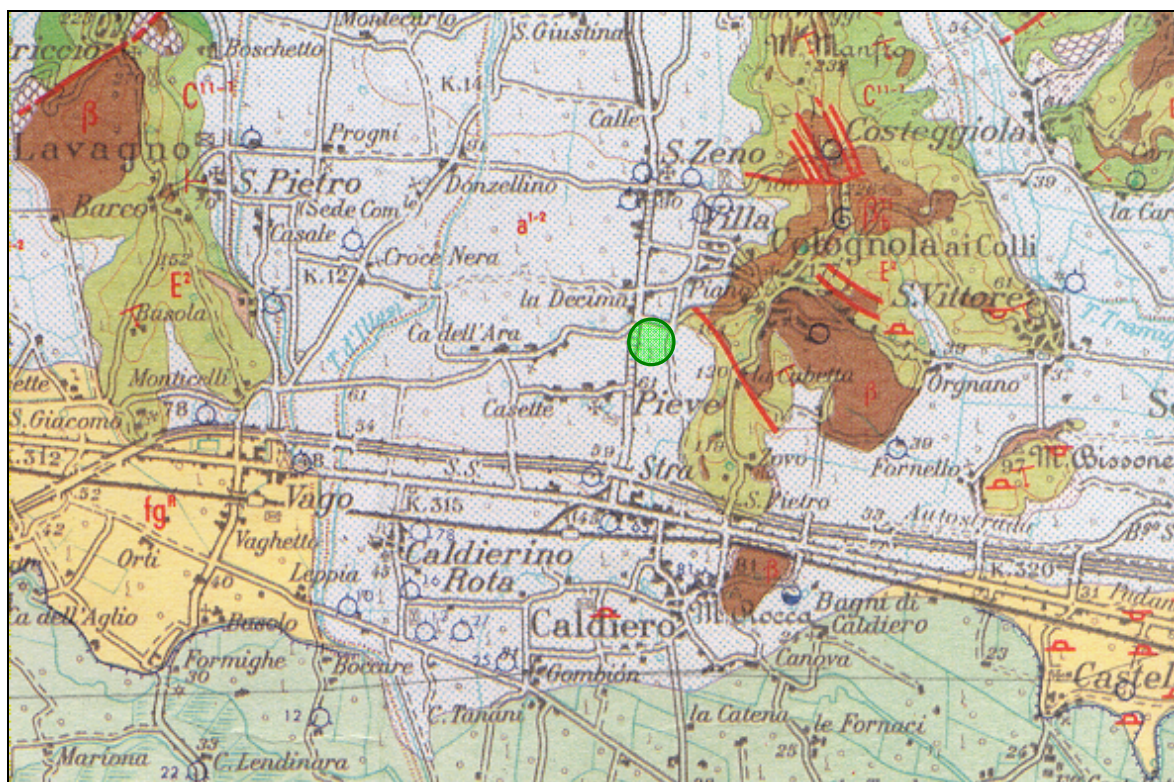


RELAZIONE GEOLOGICA

2 Il contesto geologico

In base a quanto stabilito al punto C6.2.1. della Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 617/2009, lo studio geologico deve essere esteso ad una zona significativamente estesa, in relazione al tipo di opera e al contesto geologico in cui si colloca. Per meglio caratterizzare lo studio oggetto della presente relazione, l'inquadramento geologico - territoriale dello stato attuale dei luoghi, condotto su base bibliografica, è stato esteso all'area della fascia pedecollinare veronese, ambito nel quale ricade l'intervento di progetto, con l'obiettivo di individuare i processi morfogenetici che interferiscono con l'attività antropica.

Figura 3 - Estratto, non in scala, del Foglio 49 "VERONA" della CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:100.000



LEGENDA: E^2 = Formazione dei Calcarei nummulitici (EOCENE); β = Formazioni eruttive costituite prevalentemente da basalti colonnari, compatti o bollosi o coriacei o a cuscini, delle colate dei camini vulcanici (MIOCENE INFERIORE P.P. - ?- CRATACICO SUPERIORE -?-); a^{1-2} = alluvioni eterogranulari, attuali e recenti, dei corsi d'acqua sbarrati dalla antica conoide dell'Adige (OLOCENE).

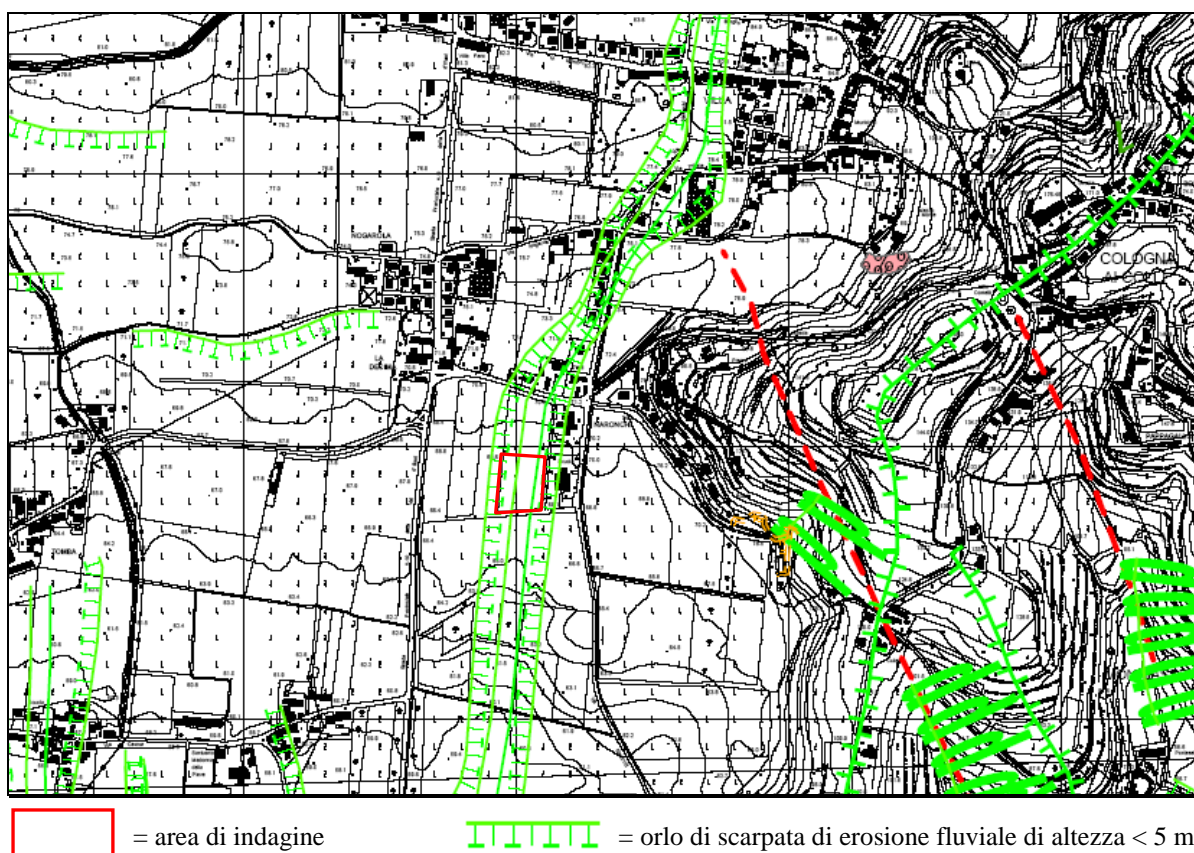


= area di indagine

2.1 Geomorfologia

Come si evince dall'estratto corografico riportato nella Figura 1 e dalla Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 riportata nella Figura 3, da un punto di vista morfologico l'area oggetto di intervento è ubicata ad quota media di circa 69 m s.l.m., in corrispondenza della fascia basale dei Monti Lessini centrali all'interno dell'ampio fondovalle inferiore elaborato dal Progno di Illasi. Tale fondovalle rappresenta la conoide prossimale subpianeggiante del corso d'acqua che sfocia a sud nella piana di divagazione del fiume Adige. Nell'intorno dell'area di intervento, il territorio presenta complessivamente una morfologia subpianeggiante, localmente articolata dalla presenza di un paleoalveo (verosimilmente imputabile all'antico corso del Prognolo) che corre in direzione nord - sud dalla località Villa fino alla ex S.S. n. 11 Padana Superiore, il cui micro-rilievo è stato in parte eliso dalla spinta urbanizzazione e dalla pratica agricola presenti nell'intorno del sito (cfr. Figura 4).

Figura 4 - Geomorfologia dell'area di intervento
(estratto della Carta Geomorfologica che compone parte del Quadro Conoscitivo del PATI di Belfiore, Caldiero, Colognola ai Colli, Lavagno, elaborata da: geol. Romano Rizzotto, geol. Cristiano Tosi, geol. Francesco Rizzotto)



RELAZIONE GEOLOGICA

La morfologia è inoltre articolata dalla presenza di rilievi collinari, che rappresentano le terminazioni meridionali delle dorsali collinari di direzione N - S che separano la Val d'Ilasi dalla Val Tramigna a est e dalla Valle di Marcellise ad ovest. Una propaggine laterale della dorsale collinare Illasi-Tramigna si rinviene ad una distanza di poche decine di metri dall'area di intervento.

Da un punto di vista litologico, l'area analizzata nella presente relazione è caratterizzata, in superficie, interamente dai **Depositi continentali quaternari di origine fluvio-glaciale e fluviale** di origine lessinea, i quali, a seguito del sovralluvionamento legato allo sbarramento dell'antica conoide rissiana del fiume Adige, presentano spessori potenti fino al centinaio di metri in corrispondenza del depocentro della Val d'Ilasi. Le alluvioni presentano granulometria variabile in senso verticale e laterale, propria dell'ambiente di sedimentazione fluviale. La dimensione dei granuli è continua, compresa fra la classe dei limi e quella delle sabbie grossolane e ghiaie, con intercalazioni di livelli limosi e di livelli di granulometria mista; in essi si riconoscono facilmente ciottoli costituiti dai litotipi della successione stratigrafica affiorante nei bacini idrografici, in particolare i termini carbonatici mesozoici e cenozoici e subordinati elementi di rocce vulcaniche di natura basaltica.

Come si evince dall'estratto della Carta Geolitologica elaborata a corredo del Piano di Assetto del Territorio Intercomunale o PATI dei Comuni di Belfiore, Caldiero, Colognola ai Colli e Lavagno (cfr. Figura 5), nell'intorno dell'area oggetto di indagine prevalgono i depositi di tipo limoso del tipico colore giallo ocre, ai quali si intercalano orizzonti ghiaiosi e/o sabbiosi e/o argillosi; essi presentano alcune caratteristiche tipiche dei depositi di *loess* (depositi di origine eolica) e sono pertanto denominati come "*loess - like sediments*" (Meneghel, 1987), databili tra la fase finale della glaciazione Würmiana e l'inizio dell'Olocene, e sono talora rimaneggiati ad opera di acque superficiali.

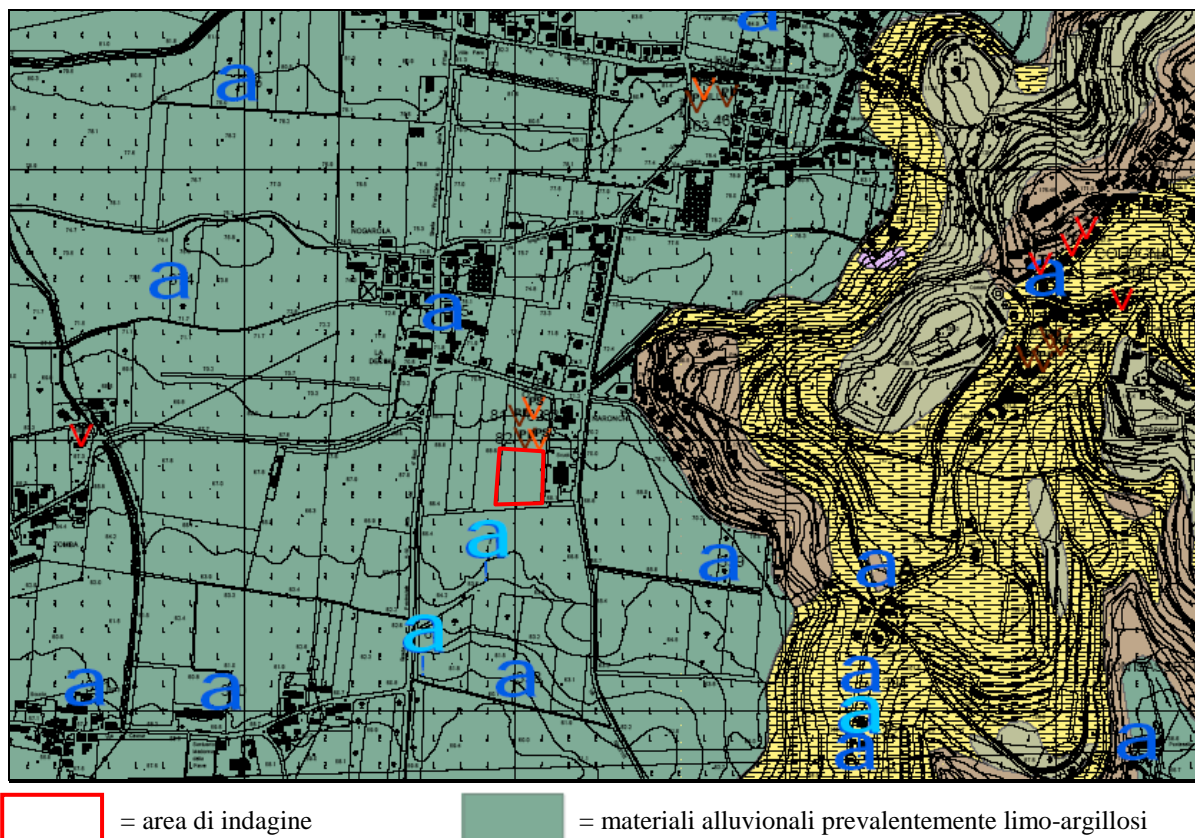
La successione stratigrafica locale può presentare, alla scala dell'intervento in esame, eteropie significative fra la classe limi, anche argillosi, e quella delle ghiaie (da imputare verosimilmente alla presenza del citato paleoalveo), come è stato riscontrato in occasione dei lavori di costruzione del Palasport presente immediatamente a nord dell'area di interesse.

All'interno della Val d'Ilasi i sedimenti alluvionali poggiano sul substrato roccioso composto dalla tipica successione stratigrafica dei Monti Lessini (che affiora nei contigui rilievi collinari), rappresentata da una pila di rocce sedimentarie, marine, di natura carbonatica, terrigena, terrigeno-carbonatica, vulcanoclastica e vulcanica con età compresa fra il Triassico superiore ed il Miocene medio, distinta in più formazioni geologiche. Più a

RELAZIONE GEOLOGICA

sud, le alluvioni dell'Illasi si interdigano con quelle fluvioglaciali dell'antica conoide dell'Adige, a granulometria prevalentemente ghiaio sabbiosa, talora ciottolosa.

Figura 5 - Geolitologia dell'area di intervento
(estratto della Carta Geolitologica che compone parte del Quadro Conoscitivo del PATI di Belfiore, Caldiero, Colognola ai Colli, Lavagno, elaborata da: geol. Romano Rizzotto, geol. Cristiano Tosi, geol. Francesco Rizzotto)



2.2 Idrogeologia

A scala regionale l'area oggetto di indagine rientra nella zona degli acquiferi di montagna che hanno sede nel substrato roccioso di natura calcareo-dolomitica a comporre la Serie idrogeologica veneta. A scala locale, è presente il solo complesso idrogeologico sommitale della potente serie veneta denominato **Complesso idrogeologico lessineo**, ospitato in rocce di natura prevalentemente marina, carbonatica, terrigena, terrigeno-carbonatica, vulcanoclastica e vulcanica con età compresa fra il Triassico inferiore e il Miocene medio.

Nei depositi continentali quaternari elaborati nel fondovalle della Val d'Illasi è presente invece un **Acquifero alluvionale intervallivo**, permeabile per porosità di grado

origine lessinea da quelli di origine atesina. Essa è seguita in profondità da un acquifero semiconfinato o confinato discontinuo e lentiforme, spesso anastomizzato al precedente. La ricarica è dovuta alla infiltrazione delle precipitazioni, ai contributi dell'irrigazione, alla dispersione delle acque di alveo e subalveo dei corsi d'acqua e agli afflussi laterali provenienti dall'acquifero freatico indifferenziato dell'alta pianura veronese. La scarica ha luogo nei tratti drenanti dei corsi d'acqua, prelievi per vari scopi ed usi, nonché come recapito finale nel mare Adriatico lungo la linea di costa.

L'acquifero ospitato nelle rocce calcaree e basaltiche, sottostante, nell'area di Colognola ai Colli, al materasso alluvionale è riconducibile al potente **acquifero carbonatico della zona di montagna**.

Il reticolo idrografico presenta una fitta maglia di corsi d'acqua di diversa natura e importanza: i principali corsi d'acqua, i torrenti Illasi, Mezzane, Tramigna ed il fiume Adige, si trovano ad una distanza superiore a 2 km. I corsi d'acqua lessinei si caratterizzano per l'esiguità della circolazione idrica superficiale attiva: nei rilievi collinari e nelle valli intercollinari, ad eccezione del torrente Tramigna che trae origine da una cospicua sorgente di origine carsica in corrispondenza dell'abitato di Cazzano di Tramigna (600 l/sec), i corsi d'acqua hanno carattere effimero e si riempiono solo in occasione di precipitazioni particolarmente intense, a causa rispettivamente di un carsismo ben sviluppato che caratterizza tutto il tavolato dei Monti Lessini veronesi e a causa di una elevata permeabilità dei depositi alluvionali di origine lessinea. Al passaggio fra l'alta e la media pianura veronese, invece, il limite di permeabilità esistente tra i depositi alluvionali dell'alta e media pianura, determina un diffuso fronte sorgivo che alimenta in continuo i corsi d'acqua della media pianura veronese (cosiddetta "fascia delle risorgive").

L'area in esame è ubicata all'interno del bacino idrografico del torrente Illasi, dove la permeabilità locale superficiale è medio-bassa ed il deflusso delle acque superficiali di origine meteoriche avviene tramite un reticolo artificiale secondario, essendo l'Illasi ed il Fosso Prognolo pensili.

Per il territorio esaminato, in materia di gestione di corsi d'acqua pubblici minori è competente il Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta (ex Zerpano-Adige-Guà). La zona d'intervento non fa parte inoltre delle aree di pericolosità individuate dal "Piano Stralcio per la Tutela dal Rischio Idrogeologico" (Bacino dell'Adige - Regione Veneto), adottato con Delibera del Comitato Istituzionale n. 1 del 15.02.2005 ed approvato con D.P.C.M. del 27 aprile 2006.

3 Caratterizzazione e modellazione geologica del sito

In base a quanto stabilito al punto C6.2.1. della Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 617/2009, i metodi e le tecniche di studio, l'approfondimento e il dettaglio delle analisi e delle indagini che conducono all'elaborazione della Relazione Geologica devono essere commisurati alla complessità geologica del sito, alle finalità progettuali e alle peculiarità dello scenario territoriale ed ambientale in cui si opera. Pertanto si è optato per l'esecuzione di una preliminare campagna di prove in sito, rapportata all'attuale stadio di progettazione preliminare dell'opera e alla scarsa accessibilità del sito, che dovrà essere necessariamente integrata nel corso dei successivi approfondimenti progettuali.

3.1 Prove in sito e dati geologici bibliografici

Considerata la tipologia e la rilevanza dell'intervento oggetto di analisi, la scelta della metodologia e del programma di indagini preliminari in sito è stata condizionata, innanzitutto, dalla scarsa accessibilità del sito, attualmente privato e coltivato a vigneto, che imponeva la scelta di metodologie di indagine non invasive e/o distruttive dei luoghi. Inoltre in relazione alla potenziale presenza di un sottosuolo superficiale a forte eteropia laterale e verticale (con depositi limosi e/o sabbiosi appartenenti al fondovalle dell'Illasi, localmente ghiaiosi), in corrispondenza dell'area di intervento si è scelto di effettuare una **indagine geofisica**, rappresentata dall'esecuzione di:

- **n. 2 prospezioni sismiche a rifrazione con inversione tomografica** sviluppate in *array* con n. 16 geofoni ad asse verticale per l'individuazione delle principali unità geofisiche tramite la stima delle velocità di propagazione delle onde longitudinali P (Vp): tale metodo consiste nel disporre, lungo uno stendimento, dei geofoni che registrano le perturbazioni indotte nel terreno da una sorgente energizzante artificiale nota; leggendo i tempi dei primi arrivi delle onde sismiche ai geofoni, si costruiscono le dromocrone, le quali permettono di individuare le variazioni verticali di velocità e, tramite inversione tomografica, di ricostruire le sismo stratigrafie ad alta risoluzione (HD) con rappresentazioni a “*countour line*” d'isovelocità;

RELAZIONE GEOLOGICA

- **n. 2 prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi. (*Refraction Microtremor*)** sviluppate in *array* con n. 16 geofoni a 4,5 Hz ad asse verticale per la ricostruzione sismo - stratigrafica del sottosuolo e per l'assegnazione della categoria del sottosuolo di fondazione (Vs,30) come espressamente richiesto dalla normativa vigente (Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 14/01/2008);
- **n. 2 registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R. (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*)** per individuare le frequenze di risonanza del terreno al fine di eseguire una corretta progettazione sismica delle strutture in elevazione e per valutare la risposta sismica locale in corrispondenza dei punti investigati.

Ai fini della caratterizzazione e modellazione geologica del sito di intervento, sono stati raccolti ed analizzati anche i dati geologici derivanti dall'esecuzione di indagini geognostiche in sito o di pozzi per acqua nell'immediato intorno dell'area di intervento. In particolare ci si è avvalso di dati derivanti dai seguenti studi e/o realizzazione di opere, estrapolati dal Quadro Conoscitivo del PATI dei Comuni di Belfiore, Caldiero, Colognola ai Colli e Lavagno o dalle relazioni fornite dall'Amministrazione Comunale:

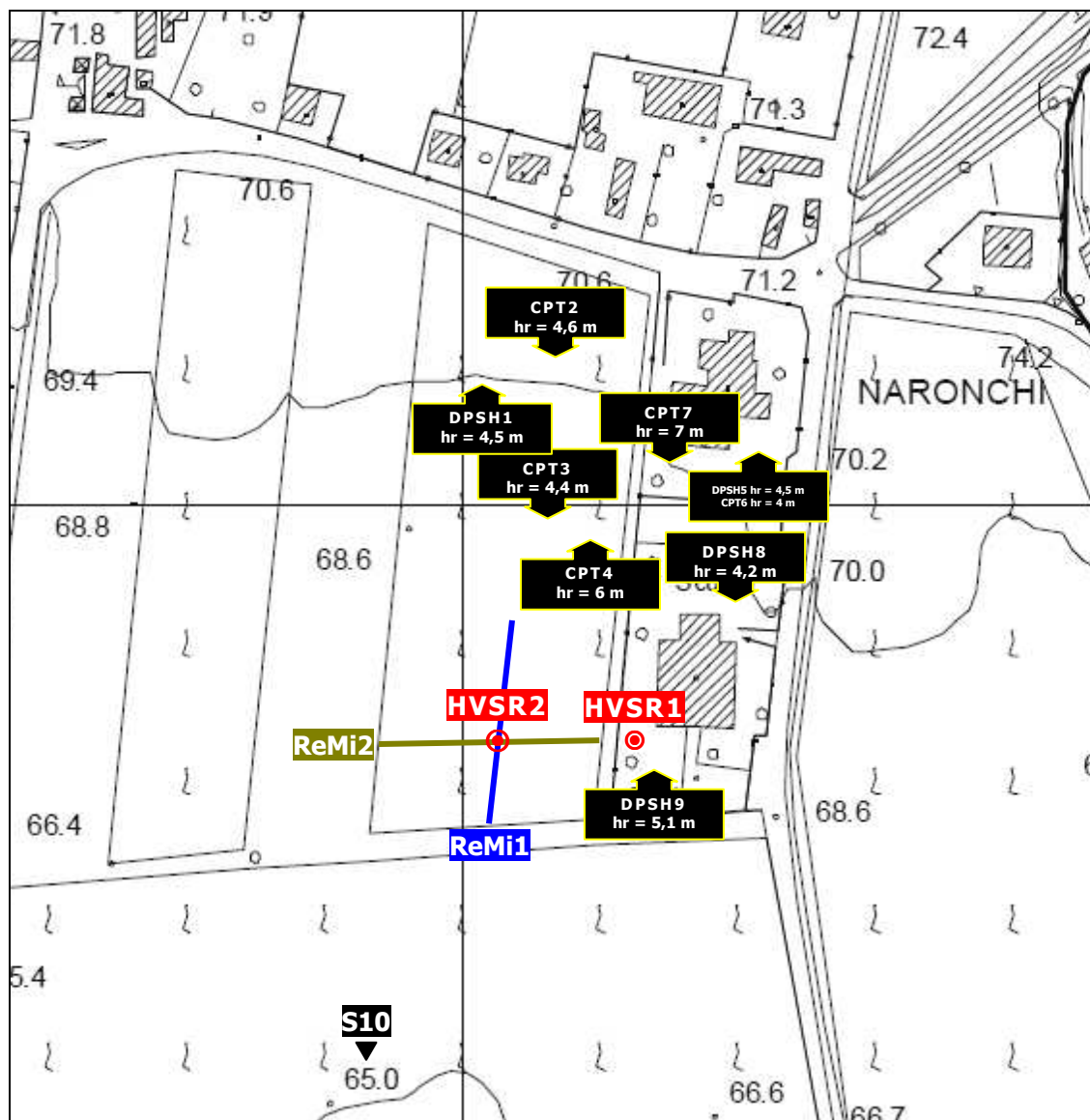
- Relazione Geologica e Geotecnica a supporto dei lavori di realizzazione di una palestra polivalente, a firma del dr. geol. Romano Rizzotto; sono disponibili una prova penetrometrica dinamica (DPSH1) e una statica (CPT2);
- Relazione Geologica e Geotecnica a supporto dei lavori di costruzione della nuova scuola media nell'ambito del completamento del polo scolastico, a firma del dr. geol. Romano Rizzotto; sono disponibili due prove penetrometriche statiche (CPT3-4);
- Relazione Geologica e Geotecnica a supporto dei lavori di ampliamento della Scuola Materna "L'Aquilone", a firma del dr. geol. Romano Rizzotto; sono disponibili due prove penetrometriche statiche (CPT6-7) e una dinamica (DPSH5);
- Relazione Geologica e Geotecnica a supporto dei lavori di ristrutturazione ed ampliamento della Scuola Primaria "Dante Broglio", a firma della sottoscritta dr.ssa geol. Nicoletta Toffaletti; sono disponibili due prove penetrometriche dinamiche (DPSH8-9);
- Realizzazione di un pozzo per acqua ad uso agricolo (S10).

L'ubicazione delle prove eseguite ed analizzate ai fini della presente Relazione Geologica è riportata nella Figura 7, mentre i risultati complessivi dell'indagine geofisica effettuata presso l'area di intervento sono riportati in allegato alla presente relazione unitamente alla relativa documentazione fotografica.

RELAZIONE GEOLOGICA

**Figura 7 - Ubicazione dell'indagine geofisica (ReMi - HVSr)
e dei dati bibliografici consultati**

(CPT = prova penetrometrica statica; DPSH = prova penetrometrica dinamica;
hr = profondità di rifiuto da p.c.; S = pozzo per acqua)



3.2 Profilo litostratigrafico

La campagna di prove e misure in sito analizzate permette innanzitutto di stimare, in maniera *indiretta*, la successione litostratigrafica locale; l'assenza, in corrispondenza dell'area di intervento, di sondaggi in sito a taratura diretta dell'indagine geofisica (prove penetrometriche, sondaggi, trincee geognostiche, ecc.) non ha permesso di vincolare il modello sismo - stratigrafico di sito (comunque da ritenersi affidabile vista l'assenza di

RELAZIONE GEOLOGICA

rumore di fondo nelle registrazioni effettuate) in maniera univoca ovvero associare i valori di velocità a determinati materiali.

La ricostruzione sismo - stratigrafica di sito monodimensionale, attraverso l'utilizzo incrociato delle due tecniche sismiche (Re.Mi. + HVSR), ha evidenziato la presenza di una copertura superficiale poco addensata caratterizzata da una velocità di propagazione delle onde di taglio S (V_s) compresa tra 150 - 180 m/s fino a 4,5 - 5,0 m dal p.c. locale. Per profondità maggiori si osserva un aumento del grado di rigidità del sottosuolo quantificabile con un valore di velocità di propagazione delle onde di taglio compreso tra 450 m/s e 550 m/s. A circa 65 m dal p.c. locale si individua il *bedrock* sismico ($V_s \approx 1.200 - 1.250$ m/s), inteso come quel materiale che presenta una $V_s > 800$ m/s, probabilmente correlabile alla formazione rocciosa più o meno compatta o alla copertura molto addensata e/o cementata di natura granulare.

**Tabella 8 - Modello sismo - stratigrafico monodimensionale
desunto dall'indagine sismica passiva Re.Mi. + HVSR**

Indagine sismica Re.Mi. n° 1 congiunta all'H.V.S.R. n° 2	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	180	5	0,0 - 5,0
II SISMOSTRATO	450	3	5,0 - 8,0
III SISMOSTRATO	520	56	8,0 - \approx 65
IV SISMOSTRATO	1200	Semisp.	\approx 65 - Semisp.

Indagine sismica Re.Mi. n° 2 congiunta all'H.V.S.R. n° 2	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	150	2	0,0 - 2,0
II SISMOSTRATO	170	2,5	2,0 - 4,5
III SISMOSTRATO	450	2	4,5 - 7,5
IV SISMOSTRATO	550	57	7,5 - \approx 65
V SISMOSTRATO	1250	Semisp.	\approx 65 - Semisp.

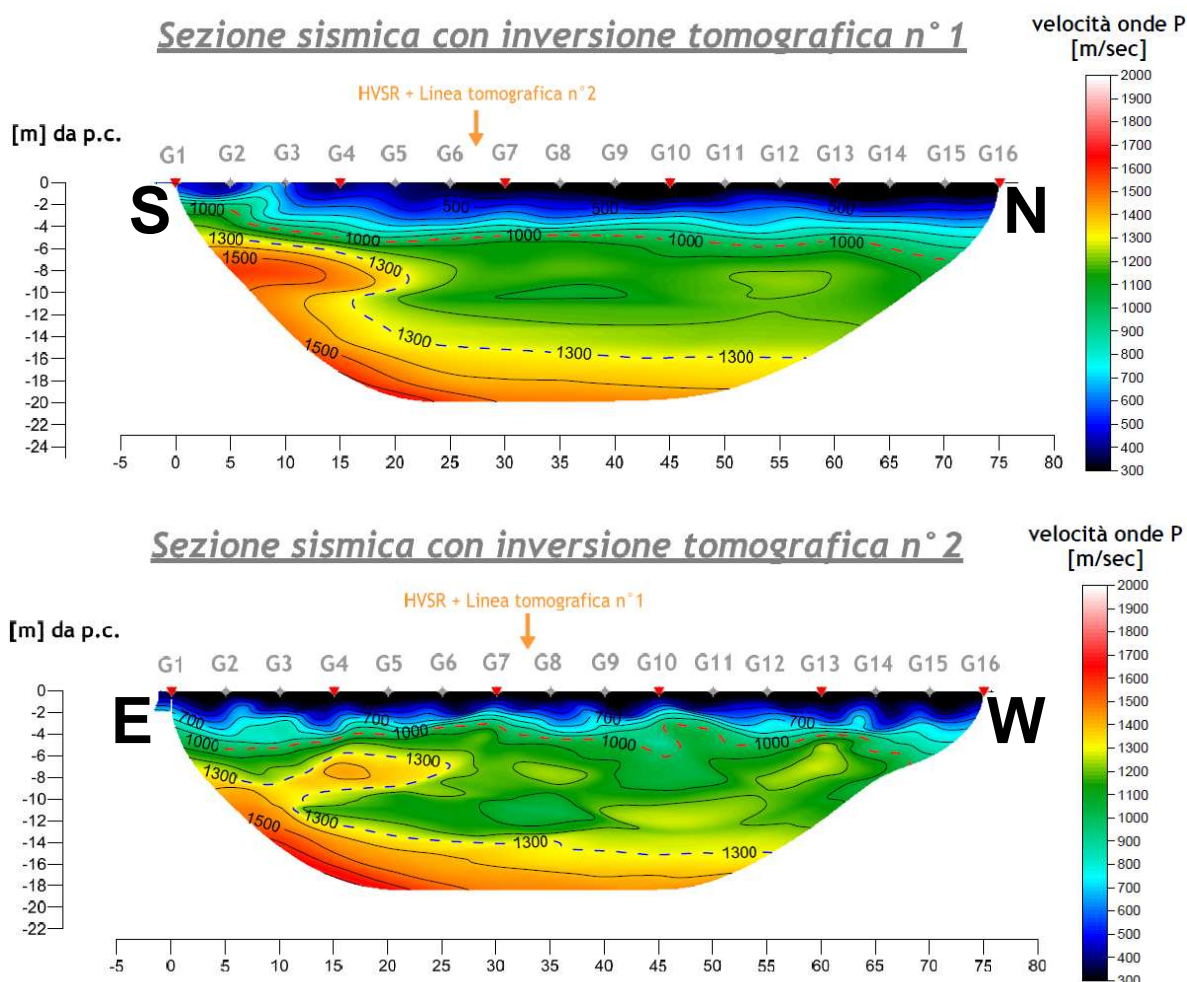
La prospezione sismica a rifrazione con inversione tomografica consente invece la ricostruzione di sezioni sismiche bidimensionali; in funzione dei contrasti di velocità

RELAZIONE GEOLOGICA

rilevati, è risultato possibile individuare tre differenti unità geosismiche (cfr. Figura 9), così distinte:

- al di sopra della linea tratteggiata color rosso osserviamo la presenza di un sismo-strato poco addensato ($V_p < 1.000$ m/s);
- tra la linea tratteggiata rossa e la linea tratteggiata blu sono presenti materiali moderatamente addensati con velocità comprese tra 1.000 e 1.300 m/s;
- sotto la linea tratteggiata blu si registrano velocità superiori ai 1.300 m/s; queste sono verosimilmente attribuibili ad un materiale addensato di natura prevalentemente granulare.

Figura 9 - Sezioni sismiche con inversione tomografica



L'analisi delle sezioni sismiche riportate nella Figura 9 evidenzia che:

- nella direzione N-S (longitudinale all'asse vallivo dell'Illasi) il sismo-strato poco addensato ($V_p < 1.000$ m/s) si esaurisce mediamente ad una profondità di circa 5 m dal

- p.c. locale con un limite suborizzontale, che si innalza fino a circa - 2 m di profondità sul lato S e si abbassa fino a circa - 6 m sul lato N; sul lato S si osserva inoltre che il materiale molto addensato di natura granulare ($V_p > 1.300$ m/s) è presente a pochi metri di profondità dal p.c. locale;
- nella direzione E-W (trasversale all'asse vallivo dell'Illasi) il limite inferiore del sismo-strato poco addensato ($V_p < 1.000$ m/s) si presenta invece ondulato (sezioni trasversali di paleoalvei?) con una profondità media ancora di circa 5 m dal p.c. locale, ma con locali approfondimenti ed innalzamenti di escursione di circa 2 m su tutta la sezione rilevata; sul lato E si osserva inoltre che il materiale molto addensato di natura granulare ($V_p > 1.300$ m/s) risale fino a pochi metri di profondità dal p.c. locale.

Entrambe le metodiche sismiche applicate evidenziano quindi la presenza, in superficie e fino ad una profondità di 4 - 5 dal p.c. locale, di un orizzonte, lateralmente continuo, di litotipi poco addensati; la prospezione sismica a rifrazione con inversione tomografica consente di verificare che il limite inferiore di tale orizzonte presenta delle locali escursioni di quota comprese fra - 4 ÷ - 6 m da p.c. Più in profondità il grado di addensamento migliora con continuità e in maniera significativa.

Sulla natura dell'orizzonte superficiale caratterizzato da litotipi poco addensati, dall'analisi delle prove penetrometriche disponibili nell'intorno dell'area in esame si evince che trattasi di litotipi di origine clastica, sciolti, costituiti da depositi a forte eteropia laterale fra banchi prevalentemente sabbiosi, mediamente addensati, con buoni valori medi di resistenza alla punta e banchi con alternanze di sabbie fini, limi sabbiosi e/o argillosi con valori medi di resistenza alla punta mediocri - scadenti. Tali depositi ricoprono, ovunque, un orizzonte molto addensato che porta a rifiuto tutte le prove analizzate a profondità variabili fra - 4 ÷ - 6 m da p.c. (cfr. Figura 7), significativamente differenti per l'intervento in corso di progettazione.

Malgrado le ridotte dimensioni dell'area di intervento, l'analisi eseguita consente di evidenziare la potenziale presenza di un sottosuolo con assetto litostratigrafico piuttosto differenziato sia lateralmente che verticalmente.

3.3 Proprietà idrogeologiche

Per quanto riguarda le proprietà idrogeologiche di dettaglio del sottosuolo indagato, il rilevamento geologico - tecnico ha permesso di accertare che i terreni oggetto dell'intervento di progetto sono afferenti all'Acquifero alluvionale intervallivo, nelle cui porzioni

superficiali (0 ÷ 6 m da p.c.) si riscontra l'assenza di falda idrica attiva; i fori delle prove penetrometriche disponibili nell'intorno dell'area in esame si sono presentati infatti sempre e completamente asciutti.

L'assetto geomorfologico dei terreni in esame condotta su un ambito più vasto rispetto al sito oggetto dell'intervento di progetto (cfr. paragrafo 2.2), ubicati sul fondovalle variamente permeabile dell'Illasi, l'assenza di sorgenti nell'intorno indagato e l'analisi dei dati idrogeologici rilevati a seguito della trivellazione di pozzi per acqua, porta inoltre a confermare le evidenze sperimentali relative all'assenza di una circolazione idrica permanente di una qualche rilevanza quantitativa all'interno del sottosuolo più superficiale. All'interno del pozzo per acqua presente a sud dell'area di intervento (S10 nella Figura 7) la profondità della falda è dichiarata a - 25 m dal p.c. locale.

Non si esclude comunque la presenza discontinua di falde effimere legate all'infiltrazione meteorica diretta in corrispondenza degli eventi piovosi più intensi.

3.4 Proprietà geotecniche

La realizzazione dell'intervento in corso di progettazione interesserà, come accertato dall'esecuzione dell'indagine geofisica e dalla consultazione dei dati geologici presenti nell'intorno dell'area in esame, un terreno caratterizzato da un banco superficiale di depositi alluvionali rappresentati da litotipi argillosi, limosi e sabbiosi, anche con ghiaia, a forte eteropia laterale (dello spessore compreso fra circa 4 ÷ 6 m), che sovrasta un orizzonte molto addensato verosimilmente associabile alla presenza di depositi ghiaiosi.

Le caratteristiche geotecniche di tali terreni, all'osservazione dei risultati delle prove penetrometriche riportate in allegato, sono variabili da mediocri a scadenti, localmente buone fino ad essere ottime in profondità.

Nel banco superficiale, i terreni coesivi (argille, argille limose e limi argillosi) presentano un valore di coesione non drenata variabile fra 60 ÷ 80 kN/mq, mentre i terreni granulari (limi sabbiosi, sabbie limose e sabbie sciolte) sono caratterizzati da un angolo di attrito interno variabile fra 29 ÷ 32°.

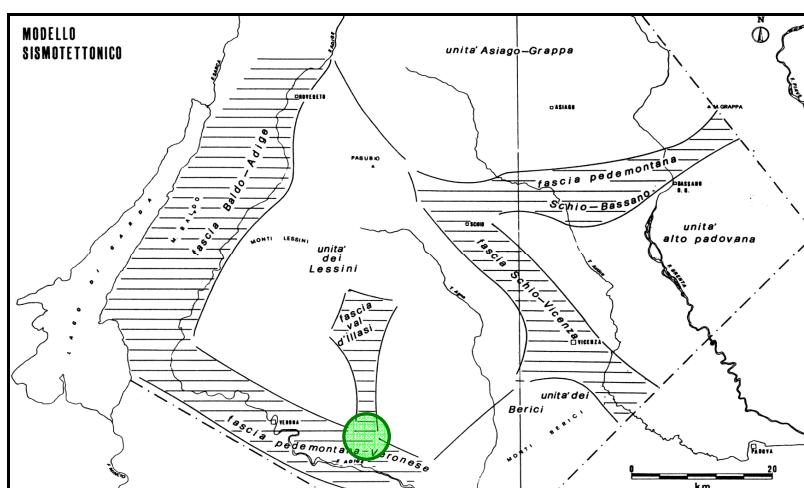
In profondità, l'orizzonte ghiaioso che porta a rifiuto tutte le prove penetrometriche è caratterizzato da elevati valori dell'angolo di attrito interno e pari a circa 38°.

Appare evidente che, nel corso degli approfondimenti progettuali dell'opera in esame, occorrerà eseguire in sito specifiche prove geotecniche per la determinazione puntuale dei parametri geotecnici.

3.5 Caratterizzazione sismica

Secondo il modello di zonazione sismotettonica del C.N.R. del 1987¹, il Comune di Colognola ai Colli si colloca all'interno dell' "Area Lessinea": in particolare, suddividendo l'area in sottozone, il territorio in esame è compreso nella "Fascia della Val d'Ilasi" e, a meridione, si trova a ridosso della "Fascia Pedemontana Veronese"².

Figura 10 - Modello sismotettonico dell'area fra il Lago di Garda e il Monte Grappa



La prima fascia è caratterizzata da un sistema di faglie con direzione N - S che si interseca con altre nei dintorni di Badia Calavena: secondo alcuni autori, tale sistema di faglie, a rigetto subverticale, denota un abbassamento del lato est, in corrispondenza del quale si sarebbe impostata la Val d'Ilasi. A queste strutture è legata la forte erosione recente che è stata messa in relazione con l'attività tettonica locale. La seconda fascia si trova al bordo meridionale dei Lessini, fa da passaggio alla pianura veronese e corrisponde probabilmente ad una faglia o ad un sistema di faglie ("Linea di Verona"), che permettono l'abbassamento della porzione meridionale. L'abbassamento in epoca recente della zona in cui scorre l'Adige, tra Sant'Ambrogio di Valpolicella e San Bonifacio è testimoniato da numerosi indizi. Inoltre, lungo la "Linea di Verona" si incontrano manifestazioni termali indicative di una neotettonica attiva impostata lungo questa fascia di deformazione ed associata

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Gruppo nazionale per la difesa dai terremoti MODELLO SISMOTETTONICO DELL'ITALIA NORD-ORIENTALE a cura di Dario Slejko et alii, Trieste 1987.

² MODELLO SISMOTETTONICO DELL'AREA FRA IL LAGO DI GARDA E IL MONTE GRAPPA a cura di M. Panizza et alii - Rend. Soc. geol. It, 4, 1981.

probabilmente alle direttrici ad andamento giudicariense (NNE - SSW) che la intersecano. La sismicità storica di queste fasce è medio - alta ed è legata al sistema di faglie a gradinata che portano alla linea Schio - Vicenza ed alla fascia di deformazione pedemontana ("Linea di Verona"): la "fascia della Val d'Illasi" è stata sede di un periodo sismico alla fine del 1800 con rilevante intensità ed ha dimostrato la sua attività anche successivamente. Invece, l'attività della "Fascia pedemontana veronese" è caratterizzata soprattutto dai terremoti di localizzazione incerta che hanno interessato in passato la città di Verona e da sismi recenti di localizzazione, invece, più attendibile. In generale, secondo quanto raccolto, è possibile considerare questa zona come un'area sismicamente attiva, anche se, la sismicità più recente, di grado medio - basso, è concentrata particolarmente nel settore nord dell'area Lessinea, a cavallo dello svincolo con la "fascia Schio - Vicenza".

Secondo il vigente D.M. 14 gennaio 2008, le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati³, si definiscono a partire dalla "**pericolosità sismica di base**" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} , nel periodo di riferimento V_R dato dal prodotto della vita nominale V_N dell'opera strutturale per il coefficiente d'uso C_U .

Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>.

Sarà compito del progettista strutturale scegliere i parametri da utilizzare nei calcoli in funzione della "Strategia di progettazione" adottata, una volta definita la Vita Nominale, la Classe d'uso ed il Periodo di Riferimento assegnate alla struttura.

In termini di **analisi sismica di sito**, l'utilizzo incrociato delle due tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismo - stratigrafico del sottosuolo robusto e affidabile in corrispondenza della zona d'interesse. L'indagine Re.Mi. ha individuato le discontinuità sismiche superficiali e stimato le velocità di propagazione delle onde S mentre la prospezione passiva a stazione singola (H.V.S.R.), tramite inversione congiunta, ha stimato il grado di rigidità della copertura profonda e del *bedrock* geofisico. Inoltre la misura

³ Nei confronti delle azioni sismiche sono *stati limite di esercizio* lo Stato Limite di Operatività (SLO) e lo Stato Limite di Danno (SLD); sono *stati limite ultimi* lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) e lo Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC).

H.V.S.R. ha determinato le frequenze di risonanza di sito cioè i valori di frequenza attesi in superficie in occasione di un evento sismico.

Il rilievo nello specifico ha innanzitutto fornito i modelli sismo - stratigrafici interpretativi già riportati in Tabella 8.

La **frequenza caratteristica di risonanza di sito**, generata dalla discontinuità sismica a più elevato rapporto spettrale (H/V compreso tra 4,5 - 6), è risultata, per entrambe le misure effettuate, di circa 14 Hz. Si ritiene importante, vista l'ampiezza dei picchi spettrali registrati, considerare anche la frequenza di circa 1,5 - 3 Hz come *range* di possibili valori di vibrazione del terreno in caso di evento sismico di magnitudo rilevante poiché d'interesse ingegneristico - strutturale.

È ormai consolidata, sia a livello accademico sia professionale, l'ipotesi che le strutture subiscono le sollecitazioni sismiche maggiori quando c'è coincidenza tra la frequenza di vibrazione naturale del terreno investito da un'onda sismica e quella natura dell'edificio.

Si dovrà quindi porre estrema attenzione nell'edificare strutture aventi gli stessi periodi di vibrazione naturale del terreno poiché il rapporto H/V calcolato è tale da ipotizzare un fattore di amplificazione del moto sismico in superficie.

Ai fini della definizione della azione sismica di progetto, è necessario individuare la **categoria di sottosuolo di riferimento** sulla base dei valori della velocità equivalente di V_{s30} [m/s], inteso come velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio dal piano di posa delle fondazioni, o sulla base del valore di $N_{SPT,30}$, secondo la seguente relazione:

$$V_{s30} = 30 / \sum_{i=1,N} h_i / V_i$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i esimo per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori. Tale parametro di resistenza del sottosuolo può essere dedotto direttamente attraverso indagini geofisiche o anche attraverso l'esecuzione di prove penetrometriche dinamiche o sulla base della coesione non drenata media $Cu_{,30}$.

L'indagine di sismica passiva eseguita nel sito ha permesso di determinare il profilo verticale delle V_s e di classificare il profilo stratigrafico del sottosuolo di fondazione nella categoria di sottosuolo - B - come definita al punto 3.2.2 dell'Allegato del D.M. 14 gennaio 2008,

RELAZIONE GEOLOGICA

anche in rapporto a diverse profondità del piano di posa delle fondazioni (cfr. allegata Relazione sull'indagine geofisica a cura del dr. geol. Matteo Collareda).

Tabella 11 - Categoria di sottosuolo

Categoria	Descrizione
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)</i>

Ai fini della verifica delle **condizioni topografiche**, essendo il sito d'intervento assimilabile ad una configurazione superficiale semplice, esso può essere inserito nella categoria T1.

Tabella 12 - Categoria topografica

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

RELAZIONE GEOLOGICA

4 Piano delle indagini e delle prove geotecniche

Le indagini geotecniche devono essere programmate in funzione del tipo di opera e/o intervento e devono riguardare il volume significativo e devono permettere la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo necessari alla progettazione. Per **volume significativo di terreno** si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso. Nei terreni omogenei, la profondità di sottosuolo influenzata (D) è pari a $1 \div 2$ volte il valore della larghezza significativa dell'opera (B) per le fondazioni superficiali (platee, travi e plinti; A.G.I., 1977). Considerata la variabilità dei terreni di fondazione e che, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo di riferimento per la definizione dell'azione sismica di progetto, da un punto di vista normativo si intendono i primi 30 m di profondità, tale valore è assunto come volume significativo per il caso in esame.

In occasione dell'elaborazione del Progetto Definitivo dell'opera pubblica in esame, quando l'accessibilità potrà essere garantita a seguito dell'attivazione della procedura di acquisizione delle aree da parte dell'Amministrazione Comunale, in corrispondenza del sedime della nuova Scuola Primaria, si propone l'esecuzione del seguente **programma di indagini in sito e prove geotecniche di laboratorio**:

- esecuzione di n. 4 prove penetrometriche della profondità di circa 6 - 8 m ciascuna per la determinazione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici dell'orizzonte superficiale in corrispondenza dell'area di intervento, topograficamente rilevate;
- esecuzione di n. 3 sondaggi a carotaggio continuo della profondità di 30 m con prove SPT mediamente ogni 1,5 - 3 m di avanzamento in rapporto al litotipo riscontrato; prelievo di almeno n. 3 campioni di terreno indisturbato;
- esecuzione di analisi granulometrica su campioni prelevati in sito mediante sondaggio a carotaggio continuo e, per i soli campioni indisturbati, caratterizzazione fisica, prove di taglio ed edometriche;
- esecuzione di n. 2 prove di permeabilità in pozzetto superficiale.

RELAZIONE GEOLOGICA

5 Conclusioni

La presente Relazione Geologica, redatta a supporto del Progetto Preliminare della nuova Scuola Primaria in Via Naronchi nel Comune di Colognola ai Colli (VR) ed in ottemperanza al D.M. 14 gennaio 2008 ha permesso di analizzare lo stato attuale del territorio oggetto di intervento, evidenziando che l'area in esame non presenta situazioni morfologiche, strutturali o geotecniche ostative alla realizzazione dell'intervento in esame.

L'analisi geomorfologica, idrogeologica e sismica dello stato attuale del territorio oggetto di intervento e di un suo adeguato intorno ha permesso di accertare che:

- in superficie la **litologia** è rappresentata da litotipi di origine clastica, sciolti, che compongono una porzione del fondovalle della Val d'Illasi inferiore; in profondità l'esecuzione dell'indagine geofisica, coadiuvata dall'analisi di prove penetrometriche eseguite nell'immediato intorno, ha permesso di appurare che il sottosuolo dell'area oggetto di intervento è costituito da un banco superficiale di depositi alluvionali rappresentati da litotipi argillosi, limosi, sabbiosi, talora con ghiaia, a forte eteropia laterale (dello spessore compreso fra circa 4 ÷ 6 m) che sovrasta un orizzonte molto addensato, verosimilmente associabile alla presenza di depositi ghiaiosi;
- i **parametri geotecnici** desunti dall'esame delle prove penetrometriche eseguite nell'immediato intorno si presentano in maniera articolata in funzione dei diversi orizzonti litologici, ma con valori da mediocri / scadenti a buoni / ottimi;
- in merito alle **proprietà idrogeologiche** del sottosuolo locale, l'acquifero locale ospita una falda idrica attiva a profondità superiori ai 15 m dal p.c. locale;
- la **caratterizzazione sismica** del sito di intervento ha consentito di determinare la frequenza fondamentale di risonanza che risulta pari a 14 Hz e 1,5 - 3 Hz, di verificare che il profilo stratigrafico locale appartiene alla categoria di sottosuolo di riferimento - B -, e categoria topografica - T1 -.

Considerato il quadro geologico determinato nella presente fase preliminare di progettazione, si rende necessaria l'integrazione delle analisi ed indagini in occasione della stesura del Progetto Definitivo dell'opera, secondo le modalità riportate al Capitolo 4.

Caldiero, 13 settembre 2010

dr.ssa geol. NICOLETTA TOFFALETTI
via Guglielmo Marconi 21 - 37042 Caldiero (VR)
tel. 045 6152173 / 339 5773948



RELAZIONE GEOLOGICA

Allegati

RELAZIONE GEOLOGICA

RELAZIONE GEOLOGICA

**Prove penetrometriche a supporto dei lavori
di realizzazione di una palestra polivalente**

(fonte: Quadro Conoscitivo del PATI di Belfiore, Caldiero, Colognola ai Colli, Lavagno,
elaborato da: geol. Romano Rizzotto, geol. Cristiano Tosi, geol. Francesco Rizzotto)

RIFERIMENTO FIGURA 7 = DPSH1					
Strato	da	a	N colpi	falda	penetrometro
81	0	-0,3	4	assente	DPSH M=73kg
81	-0,3	-0,6	3	assente	DPSH M=73kg
81	-0,6	-0,9	4	assente	DPSH M=73kg
81	-0,9	-1,2	8	assente	DPSH M=73kg
81	-1,2	-1,5	5	assente	DPSH M=73kg
81	-1,5	-1,8	6	assente	DPSH M=73kg
81	-1,8	-2,1	6	assente	DPSH M=73kg
81	-2,1	-2,4	7	assente	DPSH M=73kg
81	-2,4	-2,7	9	assente	DPSH M=73kg
81	-2,7	-3	9	assente	DPSH M=73kg
81	-3	-3,3	7	assente	DPSH M=73kg
81	-3,3	-3,6	6	assente	DPSH M=73kg
81	-3,6	-3,9	5	assente	DPSH M=73kg
81	-3,9	-4,2	10	assente	DPSH M=73kg
81	-4,2	-4,5	70	assente	DPSH M=73kg

RIFERIMENTO FIGURA 7 = CPT2					
Strato	da	a	Rp(kg/cm ^q)	RI (kg/cm ^q)	falda
80	0	-0,2	16	1,53	assente
80	-0,2	-0,4	16	1,27	assente
80	-0,4	-0,6	13	1,00	assente
80	-0,6	-0,8	11	0,47	assente
80	-0,8	-1	15	1,00	assente
80	-1	-1,2	37	1,80	assente
80	-1,2	-1,4	50	2,07	assente
80	-1,4	-1,6	39	1,80	assente
80	-1,6	-1,8	37	1,13	assente
80	-1,8	-2	34	1,67	assente
80	-2	-2,2	38	1,53	assente
80	-2,2	-2,4	55	1,40	assente
80	-2,4	-2,6	66	1,27	assente
80	-2,6	-2,8	48	1,27	assente
80	-2,8	-3	27	1,13	assente
80	-3	-3,2	31	0,73	assente
80	-3,2	-3,4	41	0,87	assente
80	-3,4	-3,6	34	1,13	assente
80	-3,6	-3,8	51	0,73	assente
80	-3,8	-4	47	0,93	assente
80	-4	-4,2	49	1,53	assente
80	-4,2	-4,4	35	2,07	assente
80	-4,4	-4,6	257	2,07	assente

**Prove penetrometriche a supporto dei lavori
di costruzione della nuova scuola media**

(fonte: Quadro Conoscitivo del PATI di Belfiore, Caldiero, Colognola ai Colli, Lavagno,
elaborato da: geol. Romano Rizzotto, geol. Cristiano Tosi, geol. Francesco Rizzotto)

RIFERIMENTO FIGURA 7 = CPT3					
Strato	da	a	Rp(kg/cm ^q)	RI (kg/cm ^q)	falda
83	0	-0,2			assente
83	-0,2	-0,4			assente
83	-0,4	-0,6	42	2,53	assente
83	-0,6	-0,8	24	2,00	assente
83	-0,8	-1	52	1,73	assente
83	-1	-1,2	44	2,80	assente
83	-1,2	-1,4	64	2,80	assente
83	-1,4	-1,6	152	2,00	assente
83	-1,6	-1,8	244	4,40	assente
83	-1,8	-2	56	3,33	assente
83	-2	-2,2	40	2,53	assente
83	-2,2	-2,4	42	1,87	assente
83	-2,4	-2,6	56	2,80	assente
83	-2,6	-2,8	278	2,80	assente
83	-2,8	-3	382	4,13	assente
83	-3	-3,2	174	4,40	assente
83	-3,2	-3,4	120	2,80	assente
83	-3,4	-3,6	126	3,07	assente
83	-3,6	-3,8	176	3,33	assente
83	-3,8	-4	330	2,80	assente
83	-4	-4,2	422	3,87	assente
83	-4,2	-4,4	474	3,60	assente

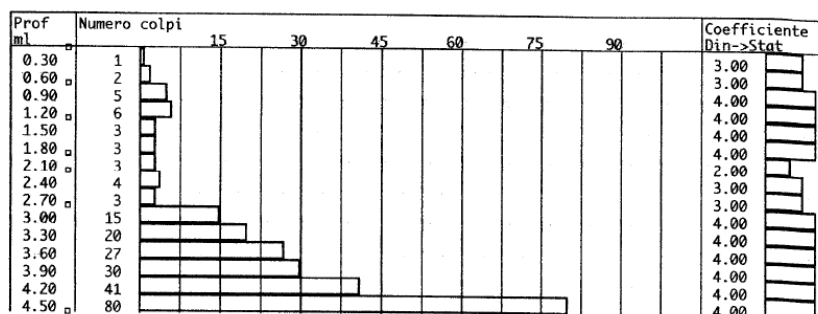
RIFERIMENTO FIGURA 7 = CPT4					
Strato	da	a	Rp(kg/cm ^q)	RI (kg/cm ^q)	falda
84	0	-0,2			assente
84	-0,2	-0,4		0,60	assente
84	-0,4	-0,6	43	1,20	assente
84	-0,6	-0,8	32	1,60	assente
84	-0,8	-1	32	1,67	assente
84	-1	-1,2	25	1,93	assente
84	-1,2	-1,4	41	1,67	assente
84	-1,4	-1,6	29	1,73	assente
84	-1,6	-1,8	28	1,53	assente
84	-1,8	-2	33	2,27	assente
84	-2	-2,2	26	2,27	assente
84	-2,2	-2,4	24	1,80	assente
84	-2,4	-2,6	40	1,07	assente
84	-2,6	-2,8	28	1,40	assente
84	-2,8	-3	46	1,27	assente
84	-3	-3,2	28	1,53	assente
84	-3,2	-3,4	21	0,47	assente
84	-3,4	-3,6	16	0,53	assente
84	-3,6	-3,8	18	0,47	assente
84	-3,8	-4	19	0,40	assente
84	-4	-4,2	13	0,53	assente
84	-4,2	-4,4	27	0,73	assente
84	-4,4	-4,6	30	0,33	assente
84	-4,6	-4,8	20	0,53	assente
84	-4,8	-5	22	2,33	assente
84	-5	-5,2	125	1,60	assente
84	-5,2	-5,4	168	0,53	assente
84	-5,4	-5,6	196	1,60	assente
84	-5,6	-5,8	226	1,73	assente
84	-5,8	-6	256	2,93	assente

RELAZIONE GEOLOGICA

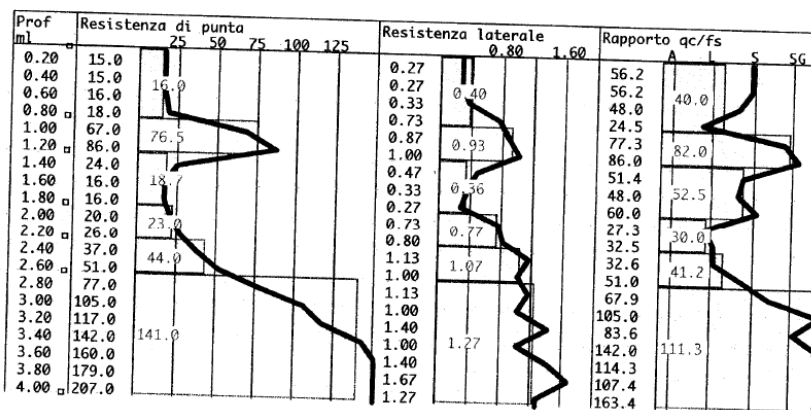
Prove penetrometriche a supporto dei lavori di ampliamento della Scuola Materna "L'Aquilone"

(fonte: Relazione Geologica e Geotecnica a supporto dei lavori di ampliamento della Scuola Materna "L'Aquilone", a firma del dr. geol. Romano Rizzotto, dicembre 2005)

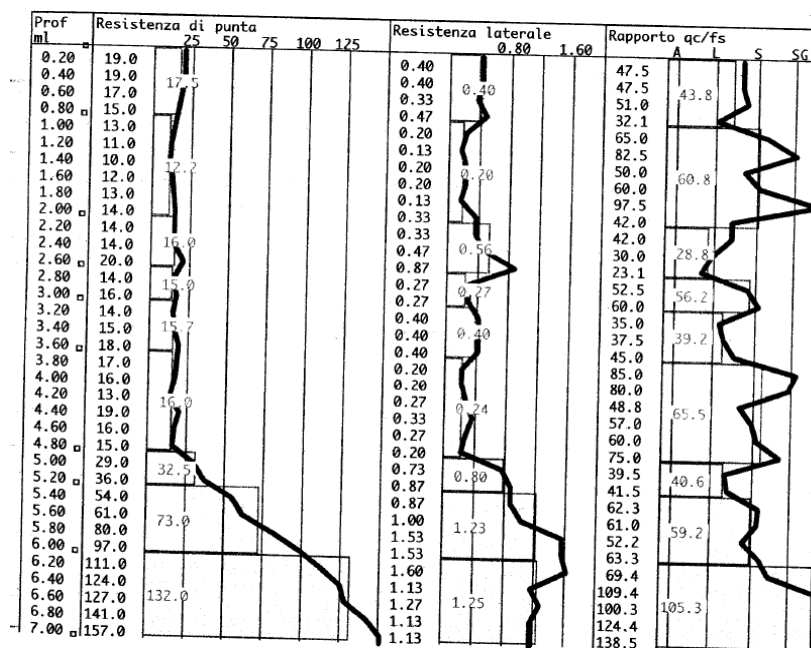
RIFERIMENTO FIGURA 7 = DPSH5



RIFERIMENTO FIGURA 7 = CPT6



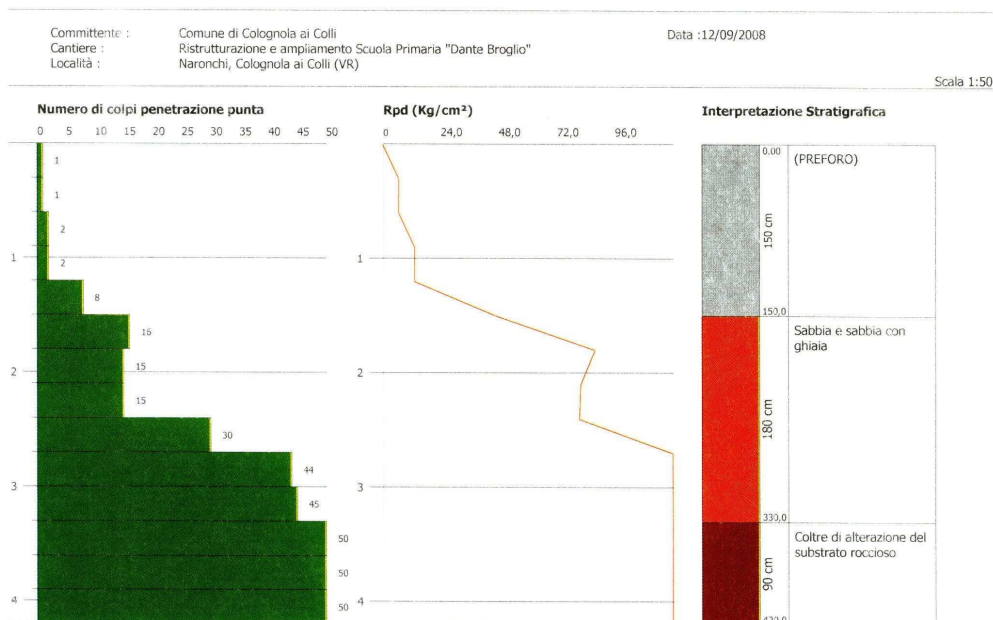
RIFERIMENTO FIGURA 7 = CPT7



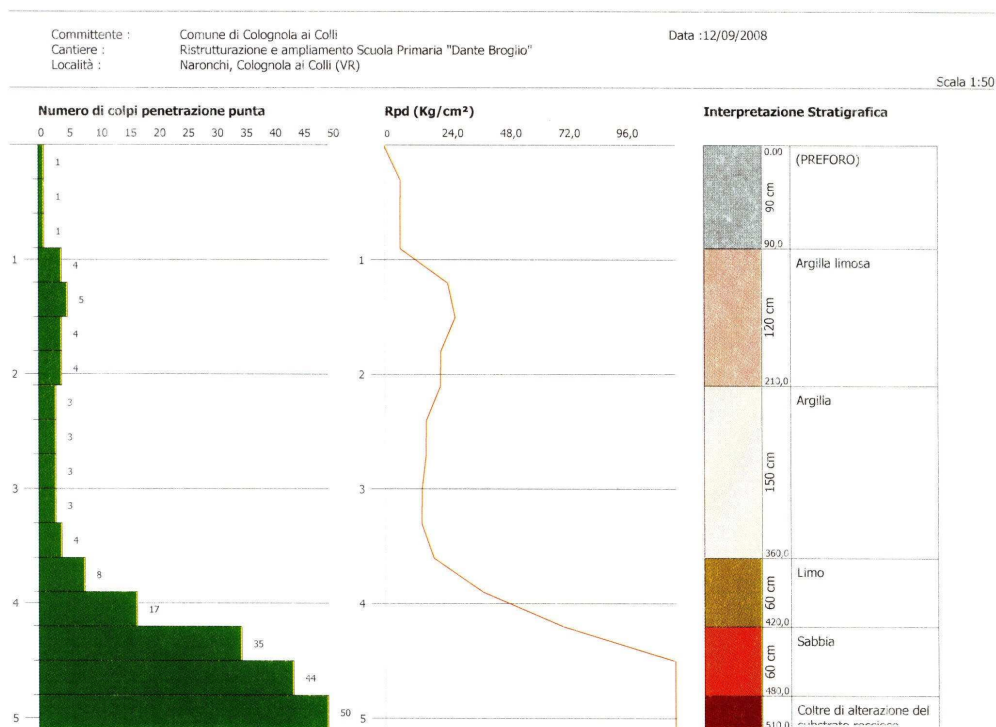
RELAZIONE GEOLOGICA

Prove penetrometriche a supporto dei lavori di ristrutturazione ed ampliamento della Scuola Primaria "Dante Broglio" (fonte: Relazione Geologica e Geotecnica a supporto dei lavori di ristrutturazione ed ampliamento della Scuola Primaria "Dante Broglio", a firma della dr.ssa geol. Nicoletta Toffaletti, settembre 2008)

RIFERIMENTO FIGURA 7 = DPSH8



RIFERIMENTO FIGURA 7 = DPSH9



RELAZIONE GEOLOGICA

Stratigrafia di pozzo per acqua

(fonte: Quadro Conoscitivo del PATI di Belfiore, Caldiero, Colognola ai Colli, Lavagno,
elaborato da: geol. Romano Rizzotto, geol. Cristiano Tosi, geol. Francesco Rizzotto)

RIFERIMENTO FIGURA 7 = S10					
Strato	da	a	liv. falda	portata	litologia
78	0	-14	-25	10-20 l/s	ghiaia
78	-14	-16			argilla
78	-16	-20,5			ghiaia
78	-20,5	-27			argilla
78	-27	-30			ghiaia e argilla
78	-30	-33			argilla
78	-33	-38,5			ghiaia
78	-38,5	-46			argilla
78	-46	-49			ghiaia
78	-49	-50,5			argilla
78	-50,5	-58,5			ghiaia
78	-58,5	-61,5			argilla
78	-61,5	-67			ghiaia e argilla
78	-67	-68,5			ghiaia
78	-68,5	-76			ghiaia e sabbia
78	-76	-78			argilla



REGIONE DEL VENETO

Provincia di Verona



Indagine geofisica con metodi tomografici, Re.Mi. e H.V.S.R.
per la ricostruzione sismo - stratigrafica del sottosuolo e
ottemperanza della normativa vigente
(N.T.C. - D.M. 14/01/2008)

Via Naronchi - Colognola ai Colli (VR)

Committente:
Dr.ssa Geol. NICOLETTA TOFFALETTI

Data: agosto 2010







Dr. Geol. Matteo Collareda

INDICE

1.	PREMESSE	3
2.	CENNI TEORICI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	5
2.1	Prospezioni sismiche a rifrazione	5
2.1.1	<i>Basi teoriche di sismica a rifrazione</i>	5
2.1.2	<i>Strumentazione, acquisizione ed elaborazioni</i>	6
2.2	Indagini sismiche di tipo passivo in array (Re.Mi.) e a stazione singola (H.V.S.R.)	7
3.	EVOLUZIONE NORMATIVA E CENNI DI INGEGNERIA SISMICA	10
4.	ANALISI SISMICA DI SITO E DEFINIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	11
4.1	Risultati ottenuti dalle indagini sismiche effettuate	11
4.1.1	<i>Prospezioni sismiche a rifrazione con inversione tomografica n° 1 e n° 2</i>	11
4.1.2	<i>Indagini sismiche passive in array (Re.Mi.) con inversione congiunta all'H.V.S.R.</i>	12
4.1.3	<i>Indagini sismiche passive a stazione singola (H.V.S.R.)</i>	15
4.2	Categoria di sottosuolo di fondazione secondo le Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 14 gennaio 2008	16

ALLEGATI:

-  Tav n° 1 - Sezione sismica con inversione tomografica n° 1
-  Tav n° 2 - Sezione sismica con inversione tomografica n° 2
-  Tav n° 3 - Prospezione sismica in array (Re.Mi. n° 1) e a stazione singola (HVSR n° 2)
-  Tav n° 4 - Prospezione sismica in array (Re.Mi. n° 2) e a stazione singola (HVSR n° 2)

BIBLIOGRAFIA



1. PREMESSE

Il giorno 24 agosto 2010 è stata condotta la presente campagna d'indagine geofisica in via Naronchi nel comune di Colognola ai Colli (VR) a supporto del progetto per la realizzazione della Scuola Primaria di Colognola ai Colli (VR), su incarico della Dr.ssa Geol. NICOLETTA TOFFALETTI.

Al fine di caratterizzare, dal punto di vista sismico, il sottosuolo dell'area in esame sono state effettuate:

- **n°2 prospezioni sismiche a rifrazione con inversione tomografica** sviluppate in *array* con n°16 geofoni ad asse verticale per l'individuazione delle principali unità geofisiche tramite la stima delle velocità di propagazione delle onde longitudinali P (V_p). Tale metodo consiste nel disporre, lungo uno stendimento, dei geofoni che registrano le perturbazioni indotte nel terreno da una sorgente energizzante artificiale nota. Leggendo i tempi dei primi arrivi delle onde sismiche ai geofoni, si costruiscono le dromocrone, le quali permettono di individuare le variazioni verticali di velocità e, tramite inversione tomografica, di ricostruire le sismo-stratigrafie ad alta risoluzione (HD) con rappresentazioni a "countour line" d'isovelocità;
- **n°2 prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor)** sviluppate in *array* con n°16 geofoni a 4.5 Hz ad asse verticale per la ricostruzione sismo - stratigrafica del sottosuolo e per l'assegnazione della categoria del sottosuolo di fondazione ($V_{s,30}$) come espressamente richiesto dalla normativa vigente (*Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 14/01/2008*);
- **n°2 registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)** per individuare le frequenze di risonanza del terreno al fine di eseguire una corretta progettazione sismica delle strutture in elevazione e per valutare la risposta sismica locale in corrispondenza dei punti investigati.

Nella figura a seguire viene evidenziata l'area in oggetto di studio (Fig. 1 - Corografia alla scala 1:25.000, estratto da I.G.M.).

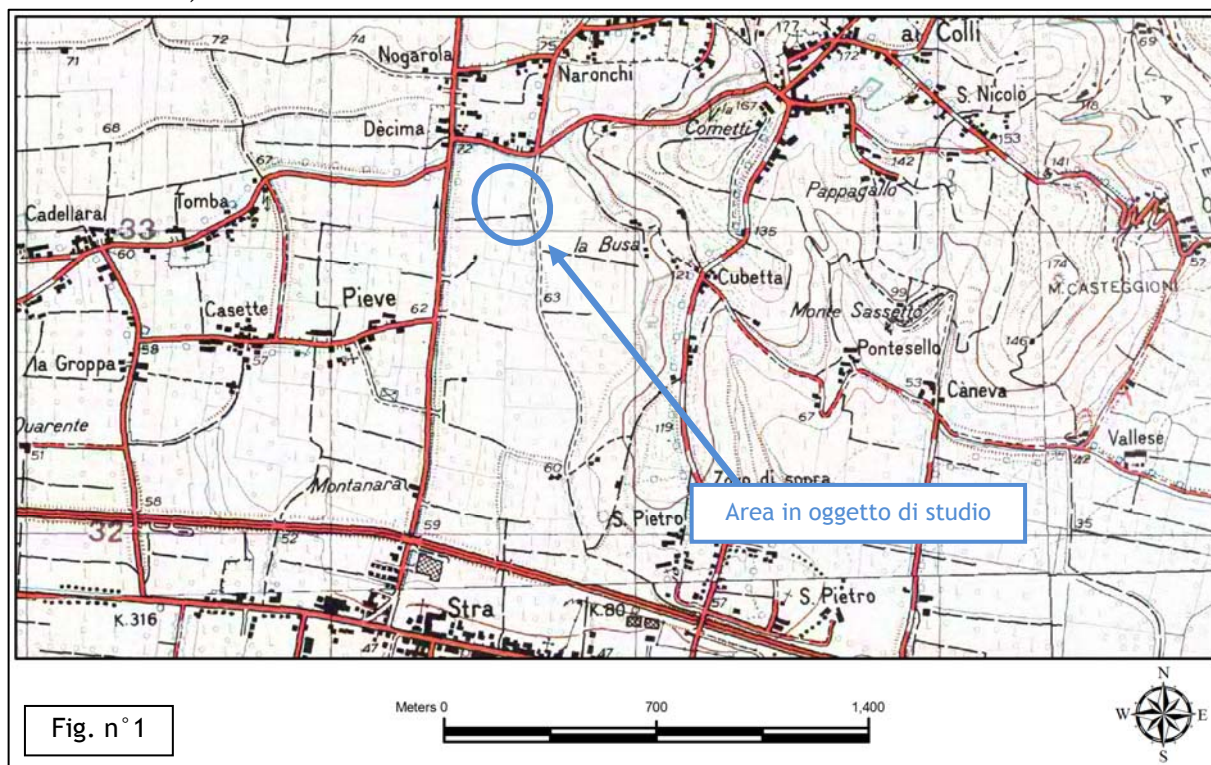


Fig. 1 - Corografia alla scala 1:25.000, estratto da I.G.M.

L'ubicazione esatta delle prospezioni sismiche effettuate *in situ* è riportata nelle figure seguenti (Fig. 2 - Ubicazione prove *in situ*).

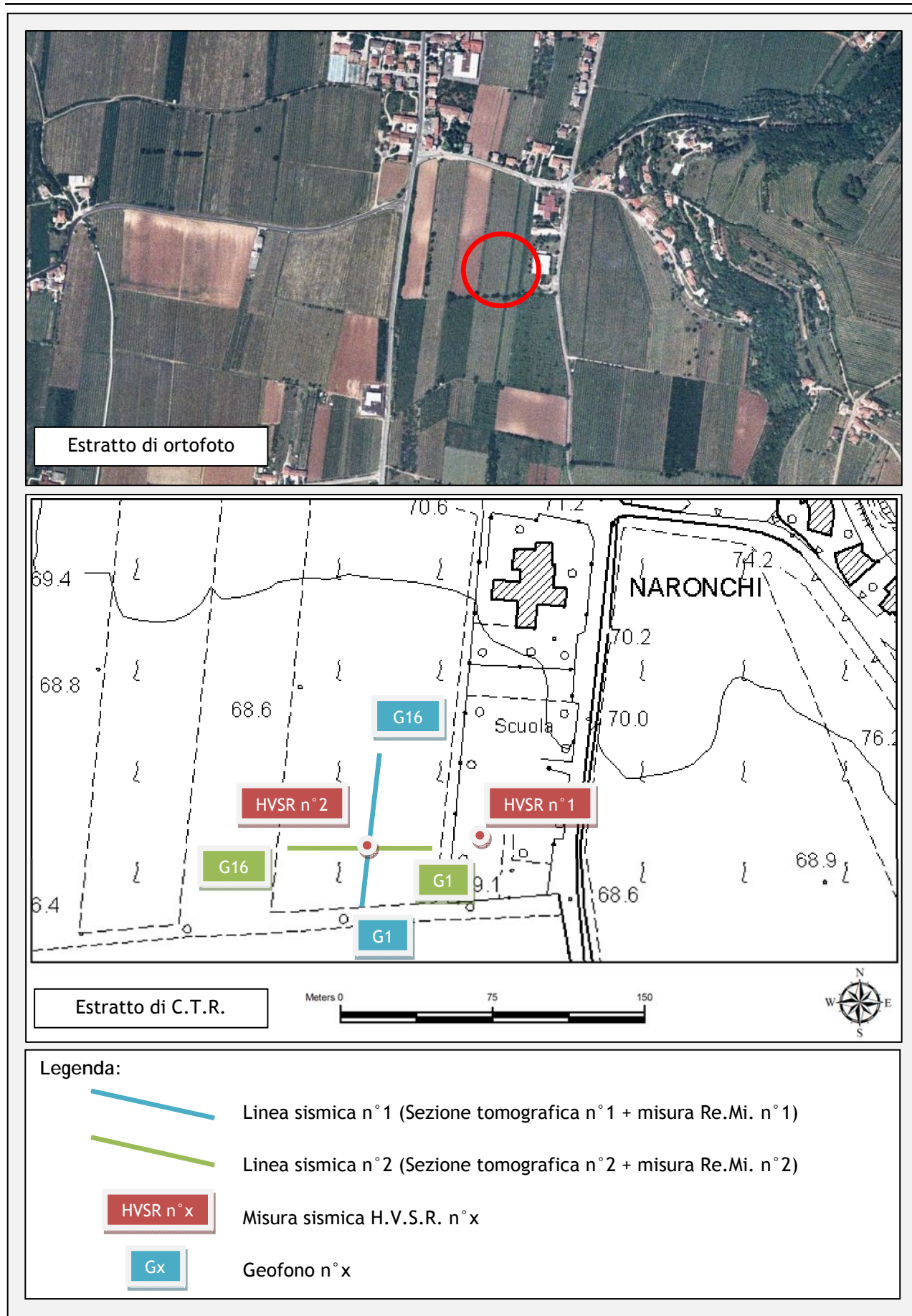


Fig. 2 - Ubicazione prove in situ

2. CENNI TEORICI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

I metodi d'indagine utilizzati nel presente lavoro rientrano tra le metodologie sismiche più affidabili e versatili attualmente disponibili nel mercato. Sebbene entrambe le procedure utilizzino le velocità di propagazione delle onde sismiche come base di partenza per l'elaborazione dei modelli sismo-stratigrafici del sottosuolo i principi matematici che stanno alla base degli algoritmi di calcolo, sono completamente diversi.

In particolare, la tecnica sismica a rifrazione con inversione tomografica utilizza il concetto della bi-rifrazione delle onde elastiche a seguito del fronte d'onda conico. Data una sorgente di onde elastiche e uno stendimento di geofoni lungo un profilo giungeranno in superficie ai geofoni onde dirette, onde riflesse ed onde coniche o bi-rifratte (*head wave*). Le onde analizzate sono quelle bi-rifratte cioè quelle che giungono alla superficie di separazione con un angolo d'incidenza critico (secondo la legge di Snell) e che quindi vengono rifratte con un angolo di 90° propagandosi parallelamente alla superficie rifrangente e venendo nuovamente rifratte verso la superficie con lo stesso angolo d'incidenza. I contrasti di proprietà possono essere legati a cause stratigrafiche, strutturali, idrogeologiche.

Nel caso invece della metodologia Re.Mi. e H.V.S.R. si sfrutta la propagazione delle onde che nel caso di mezzi stratificati e trasversalmente isotropi avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più un'unica velocità ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda. Queste interessano il terreno a diverse profondità e sono influenzate dalle caratteristiche elastiche, appunto variabili con la profondità. Questo comportamento è definito *dispersione in frequenza* ed è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie. Ovviamente le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario, le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie. I metodi di prospezione sismica che utilizzano le onde di superficie si basano su modelli fisico - matematici nei quali il sottosuolo viene schematizzato come una serie di strati con caratteristiche elastiche lineari.

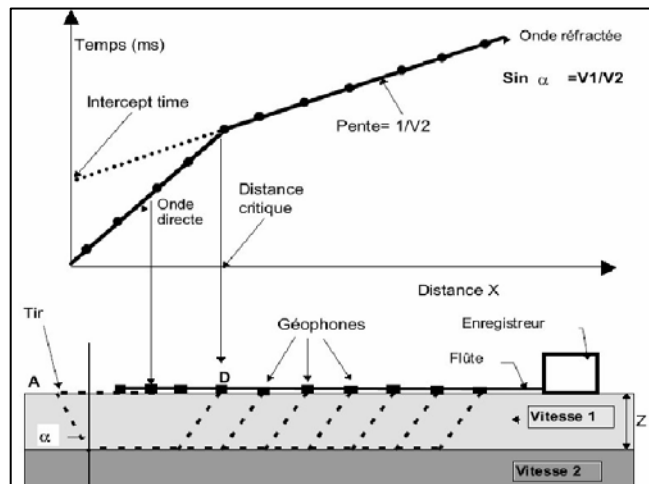
2.1 Prospezioni sismiche a rifrazione

2.1.1 Basi teoriche di sismica a rifrazione

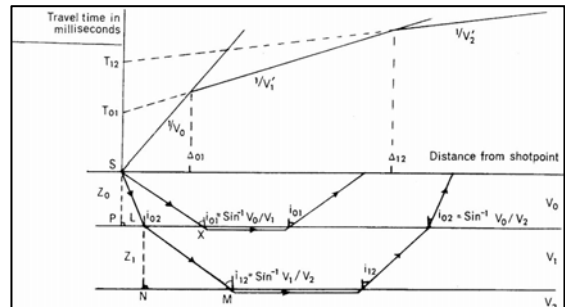
Il metodo sismico a rifrazione si basa sulla misura del tempo richiesto perché una perturbazione di origine elastica si trasmetta dalla sorgente ai geofoni percorrendo gli strati superficiali, a bassa velocità, e la superficie di separazione di due mezzi elastici differenti, a velocità più elevata.

La prospezione sismica a rifrazione è particolarmente indicata per ottenere rapide informazioni strutturali nel caso di strutture a grandi dimensioni, che siano costituite almeno da uno strato rifrangente ad alta velocità, giacente sotto una serie stratigrafica avente velocità più bassa. Se in un sistema di assi cartesiani si riportano i tempi di arrivo delle onde sismiche in funzione della loro distanza dal punto di scoppio, si ottiene una famiglia di curve "tempi - distanze" che dipendono dalle caratteristiche geologiche locali. Tali curve sono dette "dromocrone".

Nella figura riportata a fianco, sono rappresentate le dromocrone riguardanti le onde dirette, riflesse e rifratte, più la dromocrona degli impulsi diretti nell'areato. Nel punto angolare D corrispondente al geofono G0, arriveranno contemporaneamente le onde dirette e le onde rifratte. Per i geofoni posti ad una distanza minore di G0, il primo arrivo sarà



rappresentato da un'onda diretta. Da ciò si deduce che gli impulsi rifratti possono essere ricevuti solo a partire da una distanza corrispondente a G_0 . Oltre il punto angolare D i primi arrivi sono sempre rappresentati dalle onde rifratte. Si possono costruire dromocrone anche nel caso di "n" strati, purché le velocità aumentino sempre con la profondità; ogni punto angolare indicherà il passaggio da uno strato al successivo, e le velocità saranno indicate dalla pendenza dei rispettivi rami di dromocrone. Se gli strati sono poco potenti (come di solito avviene nei terreni non consolidati), i percorsi delle onde saranno curvi, con concavità rivolta verso l'alto ed anche la corrispondente dromocrone sarà una curva (figura seguente). I principali limiti della sismica a rifrazione risiedono nell'impossibilità teorica di rilevare successioni stratigrafiche composte da strati a velocità decrescente con la profondità, in tal caso lo strato o gli strati non possono essere messi in evidenza dalle onde rifratte in quanto l'energia incidente, al contatto fra la sommità dello strato e la base dello strato sovrastante a più alta velocità, subisce una flessione verso il basso e non può venire di conseguenza rifratta, tale situazione è nota come "orizzonte muto". Altra limitazione consiste nella presenza di uno strato a velocità intermedia ma di ridotto spessore; anche in questo caso l'orizzonte non produce alcun cambiamento di pendenza sulle dromocrone, e non è quindi sismicamente rilevabile.



2.1.2 Strumentazione, acquisizione ed elaborazioni

Le stese sismiche effettuate, denominate "linea sismica n°1" e "linea sismica n°2", hanno entrambe lunghezza di 75 m e sono state eseguite utilizzando le onde di compressione P (V_p). La massima profondità indagata può essere stimata intorno a 20 m dal p.c. locale.

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo a 16 + n canali modello "SoilSpy Rosina" con registrazione degli eventi in forma digitale. I sensori sono costituiti da una catena di 16 geofoni a componente verticale con frequenza propria di vibrazione di 4,5 Hz e distanza geofonica di 5 m.

L'energizzazione delle onde di compressione P è avvenuta utilizzando un maglio di circa 60 Kg in caduta libera da un'altezza di circa 1,5 m dal p.c. locale (foto a fianco). Sono stati previsti n°6 shot in modo da ottenere una quantità di dati sufficienti per ottenere un modello sismico del sottosuolo attendibile. Per l'interpretazione dei dati si è utilizzato un programma di elaborazione della sismica di superficie con la *tecnica tomografica*.

La tomografia sismica è una tecnica dettagliata di esplorazione delle velocità di propagazione delle onde sismiche in un mezzo (in questo caso si tratta di terreno); questo si basa sul primo arrivo delle perturbazioni sismiche, cioè del tempo necessario per compiere distanze prestabilite fra sorgente e ricevitore. La prospezione sismica con elaborazione tomografica, con il suo estremo dettaglio, permette di mettere in risalto fenomeni di anisotropia anche in presenza di un orizzonte apparentemente omogeneo.

Per l'elaborazione si è utilizzato il [Software Rayfracy \(licenza n°:5431681\)](#), prodotto dalla Intelligent Resource inc., che effettua l'inversione di dati sismici attraverso due fasi distinte.

Nella prima fase l'inversione avviene con il metodo Delta T-V (Gebrande and Miller 1985), che si basa sulla ricostruzione di velocità per ogni CMP (common midpoint). Questo metodo permette di ottenere un modello del campo di velocità indagato immettendo solo dati geometrici, topografici e primi arrivi.

Il software permette quindi di effettuare un controllo sul modello proveniente dall'inversione tramite l'algoritmo di "forward modelling", che permette di ricostruire le dromocrone relative al nuovo modello consentendo, ad esempio, di evidenziare zone con scadente modellizzazione, errori di picking, ecc.

La fase successiva consiste nel perfezionamento del modello ottenuto tramite il Wavepath Eikonal Traveltime tomography processing (Schuster 1993 - Geophysics - September 1993 - Volume 58, Issue 9, pp.



Energizzatore

1341 - 1323; Watanabe - SEG meeting 1999), che rappresenta una vera e propria inversione tomografica tramite il tracciato di raggi e la ricostruzione del fronte d'onda generato tenendo conto della frequenza del segnale utilizzato, con una soluzione alle differenze finite dell'equazione Eikonal. Tale inversione non presenta le limitazioni evidenziate nel metodo Delta T-V, e permette di ottenere un modello di velocità altamente affidabile.

2.2 Indagini sismiche di tipo passivo in array (Re.Mi.) e a stazione singola (H.V.S.R.)

Indagini sismiche passive in array (Re.Mi.)

La procedura Re.Mi. è un metodo di prospezione sismica sviluppato presso l'Università di Reno in Nevada (Louie, 2001) e viene classificato come metodo passivo in quanto utilizza il rumore ambientale. I vantaggi promossi da questo metodo sono molteplici: è molto veloce e semplice da usare in fase di acquisizione, raggiunge una buona profondità e risoluzione d'indagine ma soprattutto permette di ottenere migliori risultati in ambienti particolarmente urbanizzati.

La fase di acquisizione deve essere effettuata con una serie di accorgimenti e precauzioni da prendere in sito e nella pianificazione della registrazione. Tutto è finalizzato alla registrazione di dati contenenti la miglior informazione possibile riguardo alla propagazione delle onde di Rayleigh con buon rapporto segnale - rumore.

Il rumore incoerente, cioè di tipo casuale, nel caso Re.Mi. rappresenta la fonte del segnale utile che si vuole registrare. I microtremori generati dall'ambiente si propagano nel suolo e di questi si cerca di distinguere il modo fondamentale di vibrazione dell'onda di Rayleigh da quelli superiori e dall'aliasing spaziale. C'è, in questo caso, la necessità di soddisfare la condizione di "omnidirezionalità" delle sorgenti, cioè si suppone che il rumore ambientale provenga sostanzialmente da tutte le direzioni.

I tempi di registrazione dei microtremori sono decisamente più elevati rispetto alle indagini di tipo attivo. La registrazione sarà analizzata in finestre temporali che variano dai 10 ai 30 secondi.

Sono da considerare la lunghezza dello stendimento L e la distanza intergeofonica Δx . Quest'ultima agisce sul segnale come una specie di filtro in frequenza. Supponendo, infatti, che il segnale arrivi da tutte le direzioni, maggiore è la spaziatura, minore sarà la frequenza del segnale utile campionabile e viceversa. Se la frequenza è più bassa aumenta la profondità d'indagine.

La fase più delicata è quella del *data processing*, che consiste nel trattamento dei dati acquisiti con l'obiettivo di stimare la velocità di fase delle onde di Rayleigh (V_r) che sono correlabili con le velocità V_s di propagazione delle onde S ($V_s \approx 1,1 V_r$).

Le varie tecniche di processing trasformano l'informazione registrata nel dominio $x - t$ (spazio tempo), in un dominio dove l'energia associata all'evento è funzione della frequenza e di altre variabili. Tutto questo allo scopo, attraverso lo spettro, di localizzare la densità di energia maggiore, alla quale sono di solito associate le onde di Rayleigh. Con procedura manuale vengono selezionati dei punti sullo spettro, che andranno a formare la curva di dispersione sperimentale. La scelta di questi valori, denominata *picking*, è condizionata da alcune indicazioni ma è imprescindibile dall'abilità e dall'esperienza dell'interprete anche in base ad altre conoscenze in merito al sito in esame.

Il *sampling rate* utilizzato è stato di 512 Hz in modo da ottenere un elevato dettaglio del segnale. La durata (lunghezza temporale) dei segnali registrati sono stati di circa 10 minuti. Il software utilizzato per l'analisi spettrale è [Grilla v.5.3 beta release 2010](#).

Data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 10 Hz), sono stati utilizzati n°16 geofoni verticali a 4.5 Hz uniti in un *array* lineare totalmente digitale (SoilSpy Rosina). Ogni geofono è munito di un digitalizzatore che converte il segnale e lo trasmette al sismografo tramite un'interfaccia USB. Tale sistema permette di avere elevati rapporti di rumore, un



perfetto sincronismo e una estrema leggerezza. La spaziatura utilizzata tra i geofoni è stata di 5 m quindi la lunghezza complessiva per ogni profilo è risultata essere di 75 m. Non sono presenti sostanziali variazioni di quota e quindi il sito può essere considerato orizzontale.

Per una corretta ricostruzione sismica del sottosuolo e una buona stima delle onde Vs è necessario adottare una modellizzazione numerica che può essere rappresentata dalla seguente equazione:

$$\hat{v}_s = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}} \quad [2.1]$$

Vs = valore di velocità delle onde di taglio [m/s];

H = profondità alla quale si desidera stimare Vs [m] (30 m in caso di Vs30);

hi = spessore dello strato i - esimo [m];

vi = velocità delle onde Vs all'interno dello strato i - esimo [m/s].

In via puramente indicativa, al fine di correlare le velocità delle onde di taglio ad un tipo di suolo, si riportano i valori tabulati da Borchardt (1992; 1994) assieme a quelli ottenuti sperimentalmente in diversi ambienti sedimentari da altri autori (Budny, 1984; Ibs von Seht e Wohlenberg, 1999; Delgado et al., 2000 a, b; Parolai et al., 2002; Scherbaum et al., 2003; D'Amico et al., 2004, 2006; Hinzen et al., 2004).

TIPO DI SUOLO	Vs min [m/s]	Vs media [m/s]	Vs max [m/s]
ROCCE MOLTO DURE (es. rocce metamorfiche molto - poco fratturate)	1400	1620	-
ROCCE DURE (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturate).	700	1050	1400
SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE (es. rocce sedimentarie ignee tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia).	375	540	700
ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI - GHIAIOSI (es. ghiaie e suoli con < 20% di ghiaia, sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose).	200	290	375
TERRENI TENERI (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere).	100	150	200

Indagini sismiche passive a stazione singola (H.V.S.R.)

La tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali o H.V.S.R., Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non richiede nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nel costruire edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;

- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito (*free field*) e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la velocità media delle onde di taglio V_s calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. Sarà quindi possibile calcolare la $V_{s,30}$ e la relativa categoria di sottosuolo come esplicitamente richiesto dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008*;
- la stratigrafia del sottosuolo con un *range* di indagine compreso tra 0,5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostante per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

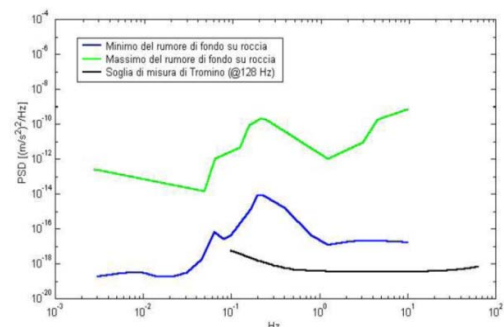
- dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s ;
- dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda);
- dalla risposta dello strumento.

Possiamo scrivere questo come:

$$\text{segnale registrazione al sito } x = \text{sorgente} * \text{effetti di percorso} * \text{funzione trasferimento strumento}$$

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche *microtremore* poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi poiché il rumore non è generato *ad hoc*, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione riguardante la sorgente è persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni concernenti il percorso del segnale e, in particolare, relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali del sottosuolo; informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale della ditta Micromed S.r.L modello "Tromino" che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra - leggeri e ultra - compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni. Lo strumento racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz. Nella figura a fianco si riporta la curva di rumore di "Tromino" a confronto con i modelli standard di rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra. Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.



3. EVOLUZIONE NORMATIVA E CENNI DI INGEGNERIA SISMICA

La storia della classificazione sismica Italiana comincia dopo il terribile terremoto di Reggio Calabria e Messina del 1908 (XI grado MCS) che provocò la morte di circa 80.000 persone. In seguito a questo evento ci fu un deciso impegno dello Stato a tradurre in legge le conoscenze scientifiche e tecniche sulle costruzioni sino ad allora maturate. Fu così emanato il Regio decreto n°193 [1909] nel quale è contenuta la prima classificazione sismica del territorio Italiano. Negli anni a seguire si continuò ad aggiornare la normativa tecnica ampliando la classificazione in base alle zone colpite da eventi sismici. Nel 1962 fu pubblicata la Legge n°1684, in seguito ai terremoti di Carnia (1956), Valle del Velino (1961) e Irpinia (1962) dove, per la prima volta, si prescrisse l'applicazione delle norme sismiche ai comuni *“soggetti a intensi movimenti sismici”* e non solo a quelli colpiti dal terremoto. In seguito ai terremoti dei Monti Nebroli (1967), della Valle del Belice (1968) e di Tuscania (1971), fu emanata la Legge n°64 [1974], che costituisce una pietra miliare nel panorama della normativa sismica poiché stabilì che la classificazione sismica dovesse procedere sulla base di comprovate motivazioni tecniche scientifiche.

La promulgazione dell'Ordinanza P.C.M. n°3274 del 20/3/2003 e successive modifiche ed integrazioni ha determinato sul panorama nazionale un grande rinnovamento sul fronte della normativa tecnica in zona sismica, rappresentata fino ad allora dai contenuti del D.M. 16 gennaio 1996. La principale novità introdotta dall'O.P.C.M. n°3274 è l'abbandono del carattere puramente prescrittivo e convenzionale che caratterizzava le norme tecniche di vecchia concezione, come il D.M. 16/01/1996, per abbracciare un'impostazione puramente prestazionale, in cui gli obiettivi della progettazione e quindi il livello di sicurezza sono esplicitamente dichiarati, a seconda della risposta sismica attesa per la struttura e il sito di costruzione, per un prefissato livello di severità dell'azione sismica.

Le attuali norme tecniche per le costruzioni (N.T.C. D.M. - 14 gennaio 2008) ereditano gran parte dei contenuti dell'O.P.C.M. n°3274 in merito alla progettazione in zone sismiche; tuttavia rispetto a quest'ultimo documento sono anche stati apportati importanti cambiamenti, di cui forse il più rilevante riguarda la definizione dell'azione sismica.

Per comprendere pienamente il significato della nuova normativa è necessario rifarsi al concetto di risposta sismica locale. Dal punto di vista strettamente fisico, per effetto di sito (risposta sismica locale) s'intende l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base (R), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie (S). Nel presente lavoro si sfrutterà la teoria di Nakamura che relaziona lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale $H / V = 1$) con quello effettivamente misurato in superficie.

Il moto sismico è amplificato in corrispondenza di determinate frequenze che corrispondono alle frequenze naturali f_n di vibrazione del deposito:

$$f_n = 1 / T_n = (V_s \cdot (2n - 1)) / (4 \cdot H) \quad \text{con } n = 1, 2, \dots, \quad [3.1]$$

mentre risulta ridotto di amplificazione alle frequenze elevate a causa dello smorzamento del terreno. Di particolare importanza è la prima frequenza naturale di vibrazione del deposito denominata frequenza fondamentale di risonanza:

$$f_1 = 1 / T_1 = V_s / 4H \quad [3.2]$$

E' quindi necessario porre estrema attenzione a fenomeni di *“doppia risonanza”*, cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei manufatti ivi edificati in quanto le azioni sismiche su di essi sarebbero gravose.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

$$\text{freq. naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani.} \quad [3.3]$$

E' la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx \text{freq. fondamentale di risonanza del sito} \quad [3.4]$$

ad essere particolarmente pericolosa, poiché da luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.

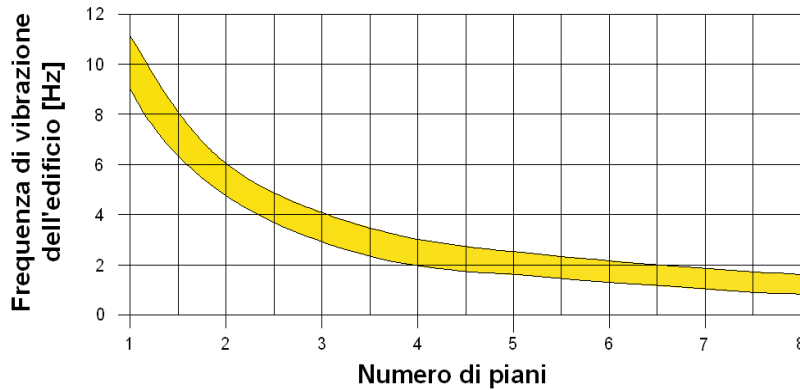


Figura - Frequenza di vibrazione degli edifici rapportata al numero di piani.

4. ANALISI SISMICA DI SITO E DEFINIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

4.1 Risultati ottenuti dalle indagini sismiche effettuate

L'obiettivo primario delle indagini geofisiche è la ricostruzione sismo - stratigrafica di sito mediante la stima del gradiente geosismico che, nel nostro caso, può ritenersi affidabile vista l'assenza di rumore di fondo nelle registrazioni effettuate. L'assenza di una taratura diretta (prove penetrometriche, sondaggi, trincee geognostiche, spinte fine alla formazione rocciosa) non ha permesso di vincolare il modello in maniera univoca ovvero associare i valori di velocità a determinati materiali.

Gli allegati sismici, in particolare Tav. n°1 e Tav. n°2, mostrano l'andamento del sottosuolo attraverso una scala cromatica di colori che parte dal nero e incrementa verso il bianco.

Lo spessore delle unità geosismiche può essere stimato attraverso la scala metrica posta sulle ordinate del grafico. Ai fini dell'elaborazione finale dei dati, il profilo altimetrico è stato considerato pressoché orizzontale.

Nella Tav. n°3 e Tav. n°4 vengono riportate le misure passive in array "Re.Mi." e la misura H.V.S.R. n°2 utilizzata per l'inversione congiunta con la relativa sismo - stratigrafia e la categoria di sottosuolo come previsto dalla normativa vigente (N.T.C. - 14 gennaio 2008).

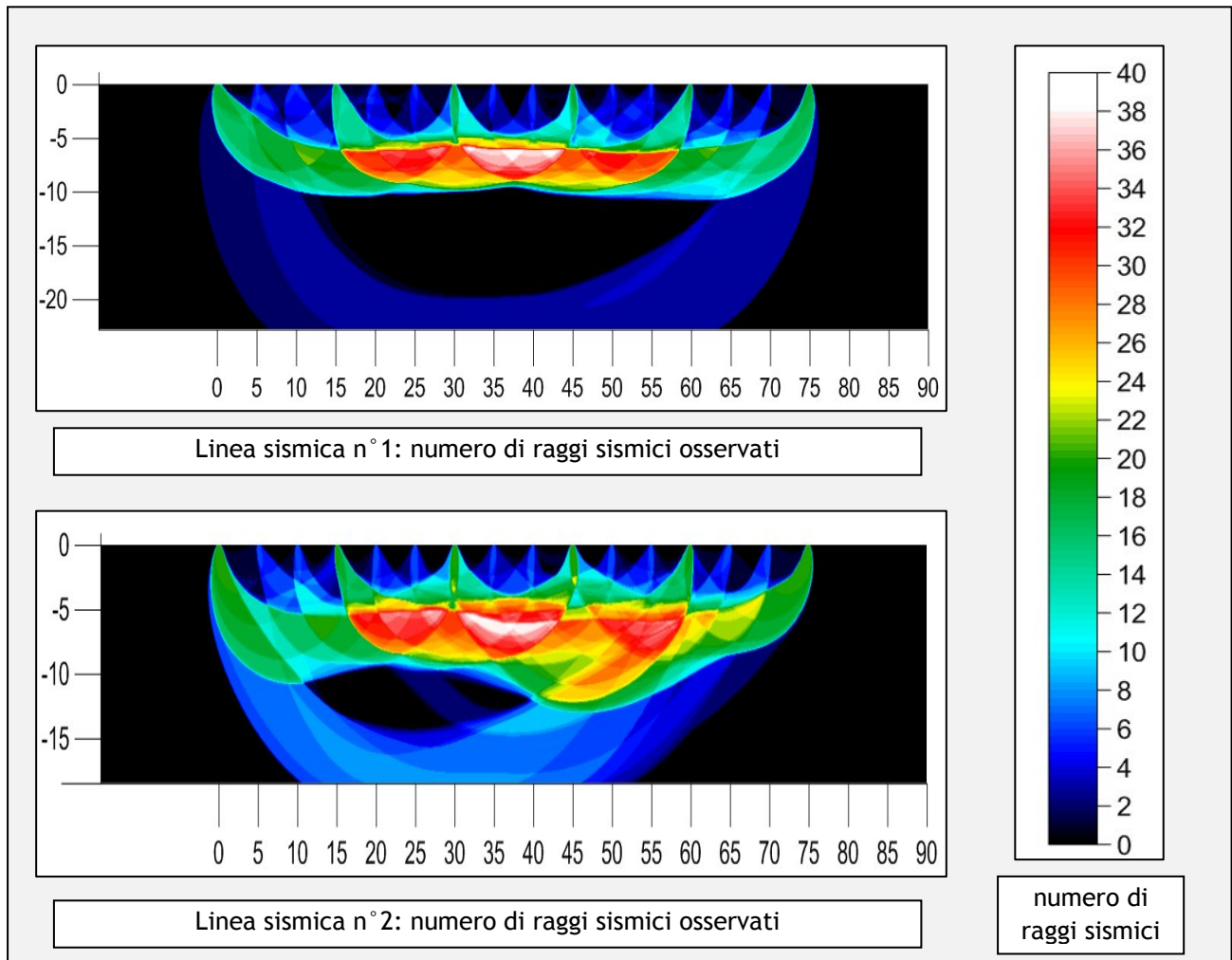
Infine, nelle pagine seguenti e in particolare nel punto "4.1.3 Indagini sismiche passive a stazione singola (H.V.S.R.)" verranno analizzate le risposte sismiche puntuali ricavate con la tecnica H.V.S.R.

Le sezioni e i punti di misura sono stati acquisiti nelle aree interessate dal futuro intervento edilizio in funzione della morfologia del terreno e degli spazi disponibili.

4.1.1 Prospezioni sismiche a rifrazione con inversione tomografica n°1 e n°2

Le linee sismiche n°1 e n°2 sono state eseguite all'interno dell'area in esame e sviluppate in modo da produrre un punto di sovrapposizione (intersezione in un punto). I risultati grafici (sezioni sismiche in 2D) sono riportati in allegato nella Tav. n°1 "Sezione sismica con inversione tomografica n°1" e nella Tav. n°2 "Sezione sismica con inversione tomografica n°2".

Dato che non esistono strati omogenei, la qualità dell'immagine del sottosuolo dipende strettamente dal numero di raggi sismici osservati. Quindi le zone più densamente coperte sono quelle meglio definite nel modello finale. Risulta evidente, dalle figure seguenti, che i modelli ottenuti hanno un elevato grado di precisione dove i colori tendono al verde, giallo, rosso e bianco.



E' risultato possibile individuare tre differenti unità geosismiche in funzione dei contrasti di velocità. Le unità sono state così distinte:

- ✓ al di sopra della linea tratteggiata color rosso osserviamo la presenza di un sismo-strato poco addensato ($V_p < 1000$ m/s);
- ✓ tra la linea tratteggiata rossa e la linea tratteggiata blu sono presenti materiali moderatamente addensati con velocità comprese tra 1000 e 1300 m/s;
- ✓ sotto la linea tratteggiata blu si registrano velocità superiori ai 1300 m/s. Queste sono verosimilmente attribuibili ad un materiale addensato di natura prevalentemente granulare.

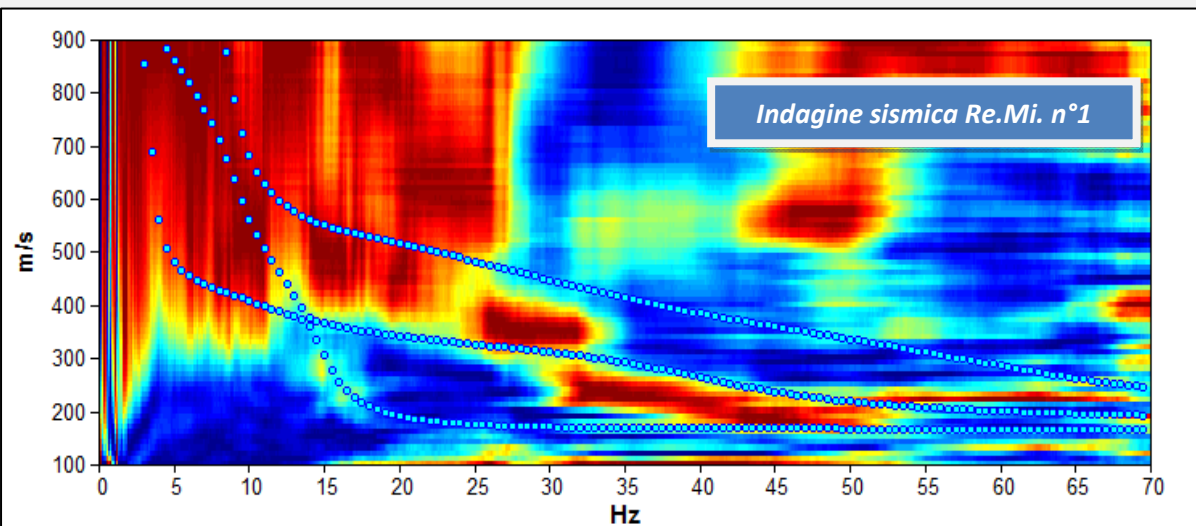
4.1.2 Indagini sismiche passive in array (Re.Mi.) con inversione congiunta all'H.V.S.R.

L'utilizzo incrociato delle due tecniche sismiche (Re.Mi. + H.V.S.R.) ha permesso di ottenere un modello sismo - stratigrafico del sottosuolo robusto e affidabile in corrispondenza della zona d'interesse. Le indagini Re.Mi. hanno individuato le discontinuità sismiche superficiali e stimato le velocità di propagazione delle onde S mentre la prospezione passiva a stazione singola (è stata utilizzata l'H.V.S.R.

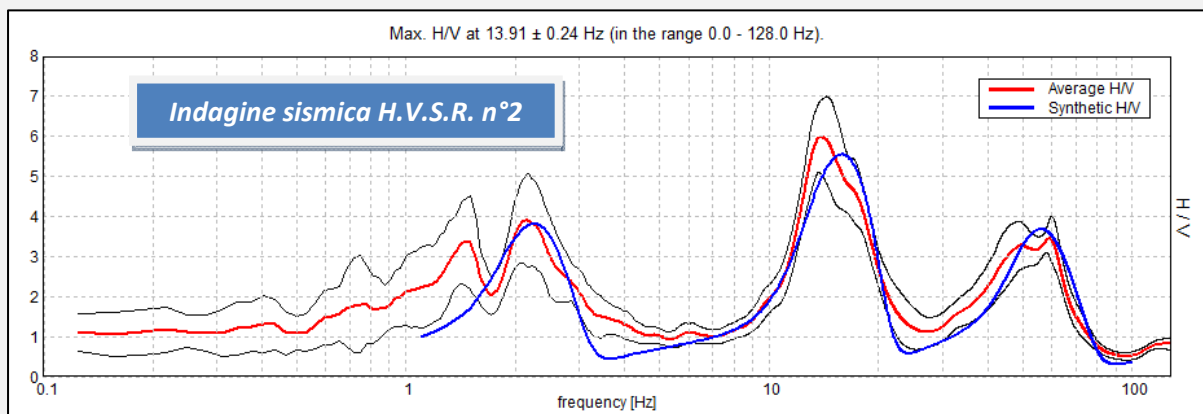
n°2 poiché eseguita in corrispondenza delle stese sismiche), tramite inversione congiunta, ha stimato il grado di rigidità della copertura profonda e del *bedrock sismico*. Inoltre, le misure H.V.S.R. hanno determinato le frequenze di risonanza di sito cioè i valori di frequenza attesi in superficie in occasione di un evento sismico. L'attendibilità del modello sismo-stratigrafico desunto è da considerarsi elevata poiché la coerenza del segnale, nel suo modo fondamentale, è buona e lo spettro di velocità è ben definito fino alle medie frequenze.

La ricostruzione sismo - stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di una copertura superficiale poco addensata caratterizzata da una Vs compresa tra 150 - 180 m/s fino a 4,5 - 5,0 m dal p.c. locale (vedi *modelli sismo - stratigrafici interpretativi* riportati a seguire). Per profondità maggiori si osserva un aumento del grado di rigidità del sottosuolo quantificabile con un valore di velocità di propagazione delle onde di taglio compreso tra 450 m/s e 550 m/s. A circa 65 m dal p.c. locale si individua il *bedrock sismico* ($V_s \approx 1200 - 1250$ m/s), inteso come quel materiale che presenta una $V_s > 800$ m/s, probabilmente correlabile alla formazione rocciosa più o meno compatta o alla copertura molto addensata e/o cementata di natura granulare.

Indagine sismica passiva in array (Re.Mi. n° 1) con inversione congiunta all'H.V.S.R. n° 2



Spettro di velocità: il modo fondamentale è presente per valori di frequenza inferiori a 15 Hz e superiori a 30 Hz mentre il primo modo superiore è presente alle medie frequenze (15 - 30 Hz). Il segnale si presenta con una buona coerenza. In blu le curve sintetiche create da una modellizzazione diretta delle onde S.

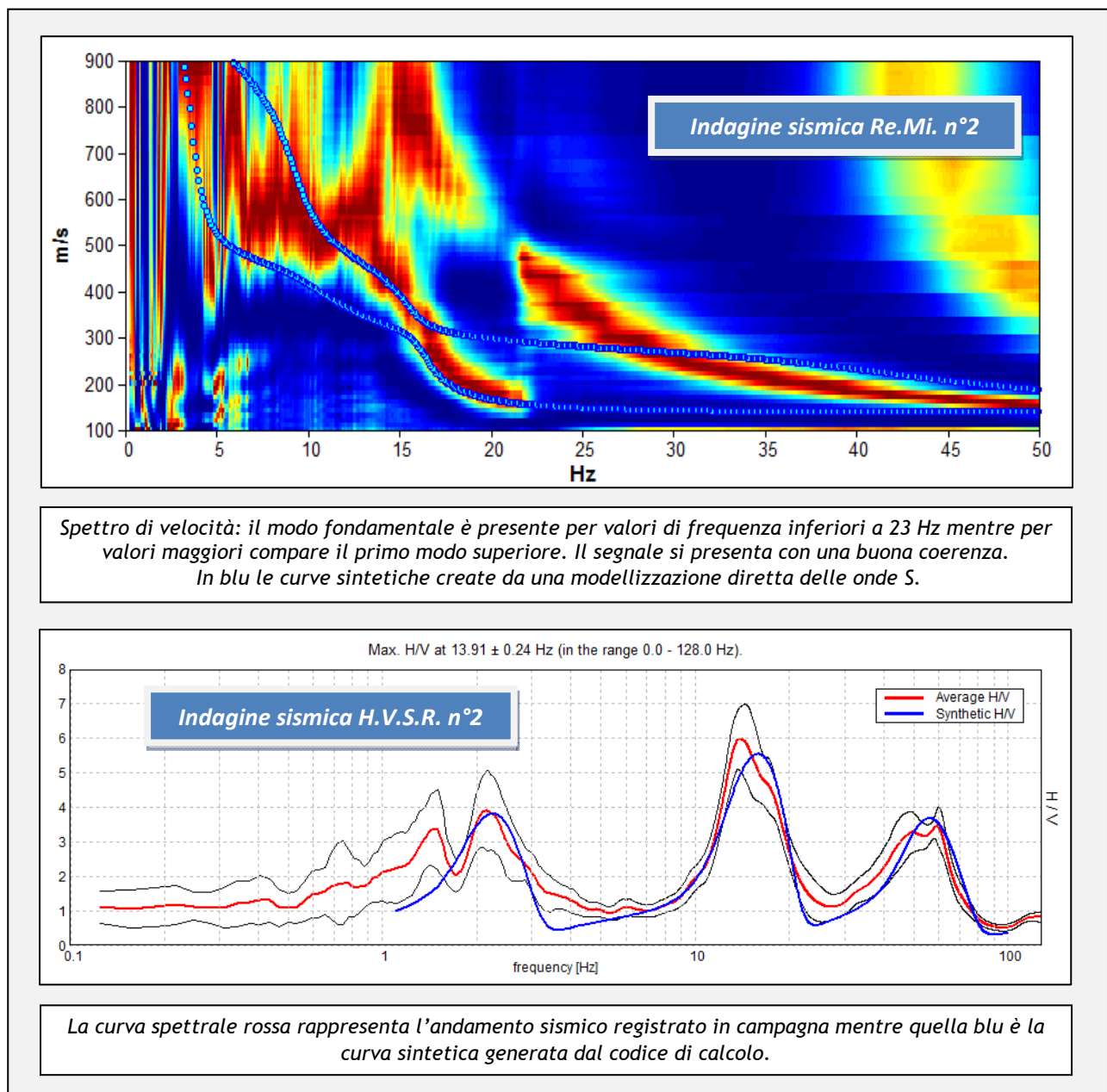


La curva spettrale rossa rappresenta l'andamento sismico registrato in campagna mentre quella blu è la curva sintetica generata dal codice di calcolo.

Il rilievo nello specifico ha fornito i seguenti dati sismici (*modello sismo - stratigrafico interpretativo*):

Indagine sismica Re.Mi. n° 1 congiunta all'H.V.S.R. n° 2	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	180	5	0,0 - 5,0
II SISMOSTRATO	450	3	5,0 - 8,0
III SISMOSTRATO	520	56	8,0 - ≈ 65
IV SISMOSTRATO	1200	Semisp.	≈ 65 - Semisp.

✚ Indagine sismica passiva in array (Re.Mi. n° 2) con inversione congiunta all'H.V.S.R. n° 2



Il rilievo nello specifico ha fornito i seguenti dati sismici (*modello sismo - stratigrafico interpretativo*):

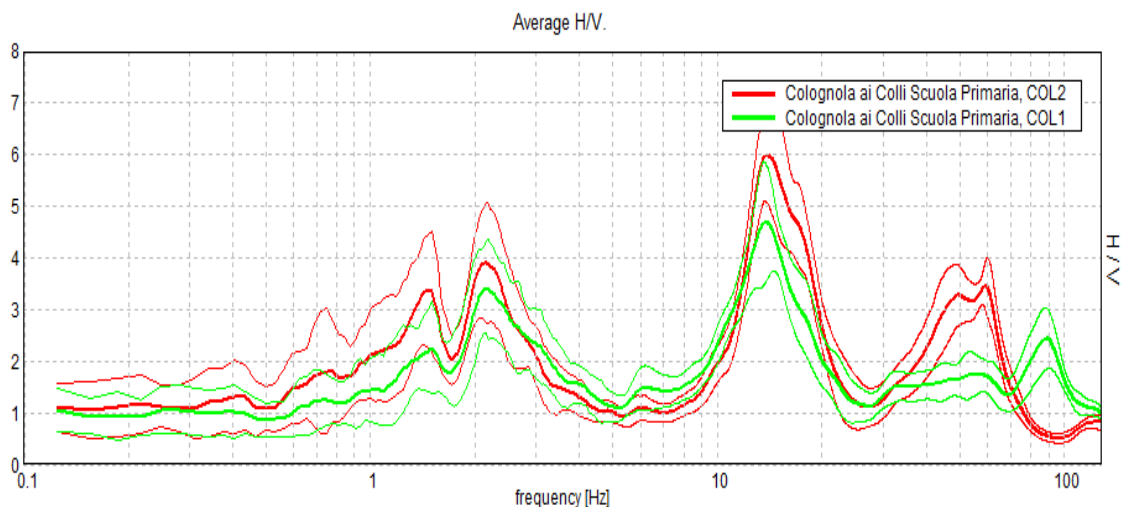
Indagine sismica Re.Mi. n° 2 congiunta all'H.V.S.R. n° 2	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	150	2	0,0 - 2,0
II SISMOSTRATO	170	2,5	2,0 - 4,5
III SISMOSTRATO	450	2	4,5 - 7,5
IV SISMOSTRATO	550	57	7,5 - ≈ 65
V SISMOSTRATO	1250	Semisp.	≈ 65 - Semisp.

4.1.3 Indagini sismiche passive a stazione singola (H.V.S.R.)

L'interpretazione delle curve H/V si basa sulla correlazione dei picchi spettrali di origine stratigrafica con le frequenze fondamentali di risonanza di sito. Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si sono potute ricavare le frequenze relative ad ogni discontinuità sismica.

La frequenza caratteristica di risonanza di sito, generata dalla discontinuità sismica a più elevato rapporto spettrale (H/V compreso tra 4,5 - 6), è risultata, per entrambe le misure effettuate, di circa 14 Hz.

A seguire si riporta la sovrapposizione delle curve H/V registrate. Da questa è possibile osservare un andamento spettrale sostanzialmente identico che denota una distribuzione monodimensionale degli orizzonti individuati nei due punti investigati.



In verde la misura HVSr n° 1, in rosso la misura HVSr n° 2

Si ritiene importante, vista l'ampiezza dei picchi spettrali registrati, considerare anche la finestra frequenziale di circa 1,5 - 3 Hz come *range* di possibili valori di vibrazione del terreno in caso di evento sismico di magnitudo rilevante poiché d'interesse ingegneristico - strutturale.

E' ormai consolidata, sia a livello accademico sia professionale, l'ipotesi che le strutture subiscono le sollecitazioni sismiche maggiori quando c'è coincidenza tra la frequenza di vibrazione naturale del terreno investito da un'onda sismica e quella naturale dell'edificio.

Si dovrà quindi porre estrema attenzione nell'edificare strutture aventi gli stessi periodi di vibrazione del terreno poiché **il rapporto H/V calcolato è tale da ipotizzare un fattore di amplificazione del moto sismico in superficie.**

4.2 Categoria di sottosuolo di fondazione secondo le Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 14 gennaio 2008

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi o in rapporto ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di Categorie di Sottosuolo di riferimento. Per definire tali categorie, il D.M. 14/01/08 prevede, in questo caso, il calcolo del parametro $V_{s,30}$, ovvero della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio V_s entro 30 m di profondità dal piano di posa delle ipotizzate fondazioni superficiali.

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Esistono poi due categorie speciali di sottosuolo, che sono quelle denominate dalle sigle S1 e S2, per le quali le NTC08 richiedono che l'azione sismica sia definita tramite il ricorso a studi speciali. Per queste categorie di sottosuolo non è quindi possibile utilizzare l'approccio semplificato basato sul coefficiente di amplificazione stratigrafica.

S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Dalle indagini sismiche effettuate è possibile calcolare la velocità media di propagazione delle onde di taglio fino a 30 m dal piano di posa delle fondazioni come espressamente richiesto dalla normativa vigente (*Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 14/01/2008*). A fianco si riportano i valori di $V_{s,30}$ ipotizzando varie profondità delle fondazioni:

	Indagine sismica ReMi n° 1	Indagine sismica ReMi n° 2
Profondità piano di posa delle fondazioni	Vs,30	
0 m da p.c.	Vs (0 - 30) \approx 391 m/s	Vs (0 - 30) \approx 399 m/s
1 m da p.c.	Vs (1 - 31) \approx 410 m/s	Vs (1 - 31) \approx 426 m/s
2 m da p.c.	Vs (2 - 32) \approx 432 m/s	Vs (2 - 32) \approx 458 m/s
3 m da p.c.	Vs (3 - 33) \approx 456 m/s	Vs (3 - 33) \approx 488 m/s
6 m da p.c.	Vs (6 - 36) \approx 515 m/s	Vs (6 - 36) \approx 548 m/s

Dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dal presente studio e dalle indicazioni normative si prevede l'inserimento del sito d'indagine nella Categoria di Sottosuolo denominata B, così definita:

Categoria B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).





Si ricorda che qualunque tecnica di geofisica applicata ha un margine di errore intrinseco variabile in funzione del tipo di tecnica usata, di strumentazione utilizzata e di problematiche incontrate durante la fase di acquisizione. Infine, i profili di Vs ricavati con questa metodologia, come tutti i metodi indiretti, non presentano una soluzione univoca e quindi più modelli possono fornire curve sintetiche simili tra loro.

Isola Vicentina, agosto 2010



Dr. Geol. Matteo Collareda

ALLEGATI:

-  Tav n° 1 - Sezione sismica con inversione tomografica n° 1
-  Tav n° 2 - Sezione sismica con inversione tomografica n° 2
-  Tav n° 3 - Prospezione sismica in array (Re.Mi. n° 1) e a stazione singola (HVSR n° 2)
-  Tav n° 4 - Prospezione sismica in array (Re.Mi. n° 2) e a stazione singola (HVSR n° 2)

BIBLIOGRAFIA

- ✓ Aki K., 1964. A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust, *Geophysics*, 29, p. 665 - 666.
- ✓ Arai H. e Tokimatsu K., 2004. S-Wave Velocity Profiling by Inversion of Microtremor H/V Spectrum, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 94, p. 53 - 63.
- ✓ Castellaro S., Mulargia F. Bianconi L., 2005. Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata, rapida ed economica, *Geologia Tecnica Regionale*, vol. 3.
- ✓ D'Amico V., Picozzi M., Albarello D., Naso G. e Tropenscovino S., 2004. Quick estimates of soft sediments thicknesses from ambient noise horizontal to vertical spectral ratios: a case study in southern Italy, *J. Eartq. Eng.*, 8, p. 895 - 908.
- ✓ Dal Moro G., 2008b, Rapporto sulla campagna Vs30 in Friuli Venezia Giulia, Dipartimento di Scienze Geologiche Ambientali e Marine, Università di Trieste.
- ✓ Dal Moro G & Pipan M., 2007, Joint Inversion of Surface Wave Dispersion Curve and Reflection Travel Times via Multi-Objective Evolutionary Algorithms, *J. Appl. Geophysics*, 61, 56-81.
- ✓ Gallipoli R., La Penna V., Lorenzo P. et al., 2000. Comparison of geological and geophysical prospecting techniques in the study of a landslide in southern Italy, *European J. Environm. and Eng. Geophys.*, 4, p. 117 - 128.
- ✓ Ibs-von Seht M. e Wohlenberg J., 1999. Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments, *Bull. Seismol. Soc. America*, 89, p. 250 - 290.
- ✓ Ivanov, J., Miller, R.D., Xia, J., Steeples, D., and Parck, C.B., 2006, Joint Analysis of Refractions with Surface Waves. An Inverse Refraction-Traveltime Solution: *Geophysics*, 71, R131-R138.
- ✓ Luo, Y. and Schuster, G., 1991, Wave-Equation traveltime inversion, *Geophysics*, 56, 645-653.
- ✓ Mucciarelli M. e Gallipoli M.R., 2001. A critical review of 10 Years of microtremor HVSr technique, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 42, P. 255 - 266.
- ✓ Mucciarelli M. e Gallipoli M.R., 2006. Comparison between Vs30 and other estimates of site amplification in Italy, *Conf. Eartq. Eng. And Seismol.*, Ginevra, 3-8 Sept. no 270.
- ✓ Mulargia F., Castellaro S., Rossi P.L., 2007. Effetti di sito e Vs30: una risposta alla normativa antisismica", *Il geologo - Ordine dei Geologi Regione Emilia Romagna*.
- ✓ Nakamura Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface, *QR of RTRI*, 30, p. 25 - 30.
- ✓ Tarantola, A., 1984, Inversion of seismic refraction data in the acoustic approximation, *Geophysics*, 49, 1259-1266.
- ✓ Roth M. & Holliger K- 1999. Inversion of Sourcegenerated noise in high-resolution seismic data. *The Leading Edge*, 18, 1402-1406.
- ✓ SESAME Project: "Site Effects Assessment Using Ambient Excitations", 2005.
- ✓ USGS: "Questa Baseline and Pre-Mining Ground-Water Quality Investigation. 24. Seismic Refraction Tomography for Volume Analysis of Saturated Alluvium in the Straight Creek Drainage and Its Confluence with Red River, Taos County, New Mexico", 2007.
- ✓ Vidale, J. E., 1988, Finite-difference calculation of traveltimes, *Bull. Seis. Soc. Am.*, 78, 2062-2076.

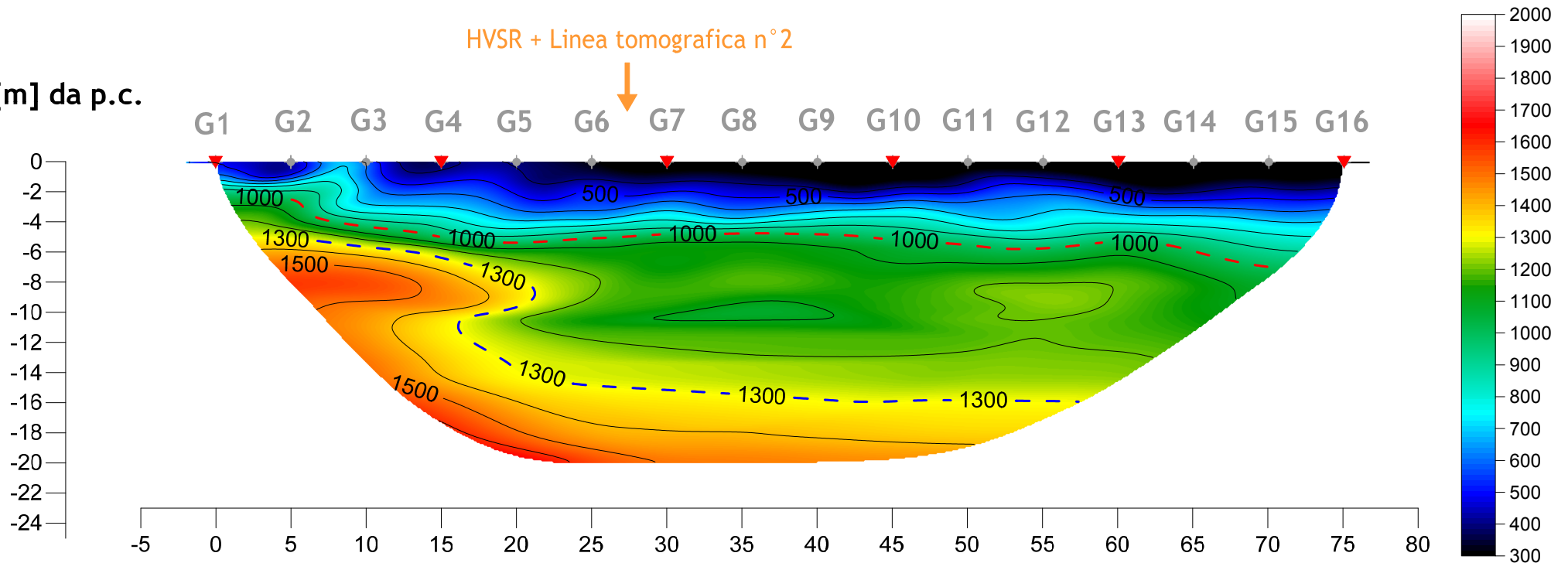


Sezione sismica con inversione tomografica n° 1

[m] da p.c.

HVSR + Linea tomografica n° 2

velocità onde P
[m/sec]



Distanza in [m]

LEGENDA



Posizione degli shot



Posizione dei geofoni [G1]



Probabile limite tra il materiale poco addensato e il materiale più addensato di natura granulare



Probabile limite tra il materiale moderatamente addensato e il materiale molto addensato di natura granulare



INDAGINE GEOFISICA

Comune di Colognola ai Colli (VR)

Comm.: Geol. Nicoletta Toffaletti

Sezione sismica con inversione tomografica n° 1

Tav. n° 1

StudioSisma

Agosto 2010

Sezione sismica con inversione tomografica n° 2

HVSR + Linea tomografica n° 1

[m] da p.c.

0
-2
-4
-6
-8
-10
-12
-14
-16
-18
-20
-22

G1 G2 G3 G4 G5 G6 G7 G8 G9 G10 G11 G12 G13 G14 G15 G16

-5 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80

Distanza in [m]

velocità onde P
[m/sec]

2000
1900
1800
1700
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300

LEGENDA



Posizione degli shot



Posizione dei geofoni [G1]



Probabile limite tra il materiale poco addensato e il materiale più addensato di natura granulare



Probabile limite tra il materiale moderatamente addensato e il materiale molto addensato di natura granulare



INDAGINE GEOFISICA

Comune di Colognola ai Colli (VR)

Comm.: Geol. Nicoletta Toffaletti

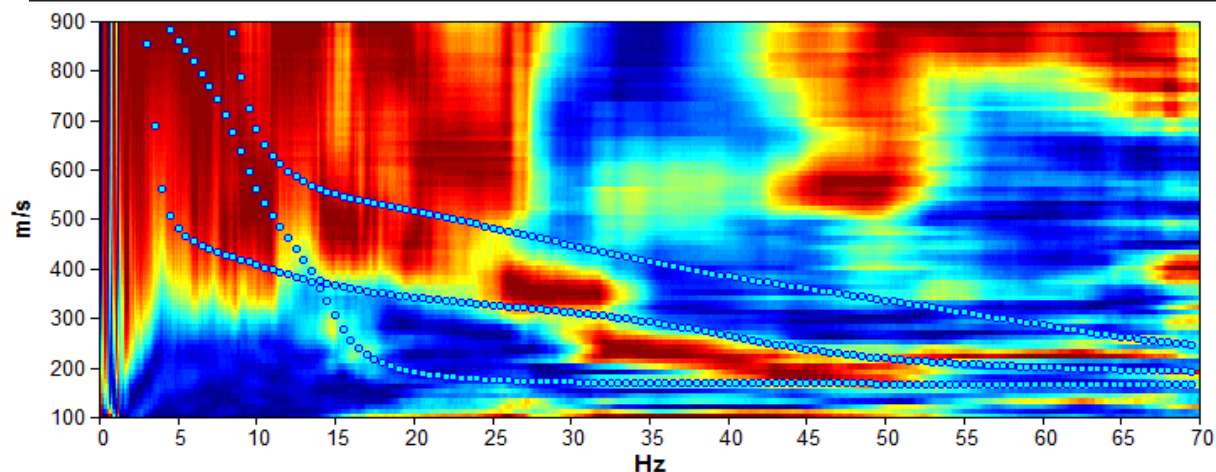
Sezione sismica con inversione tomografica n° 2

Tav. n° 2

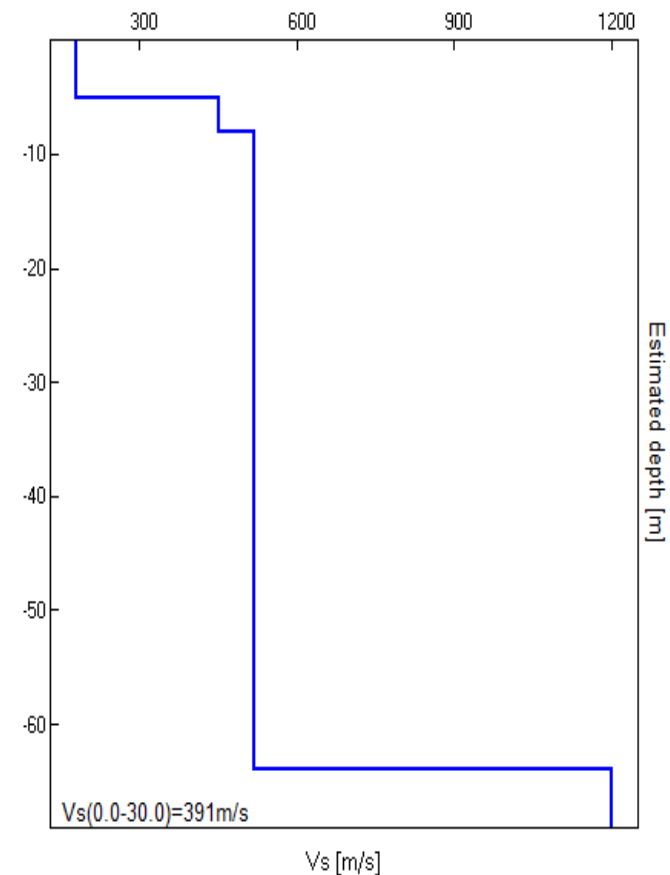
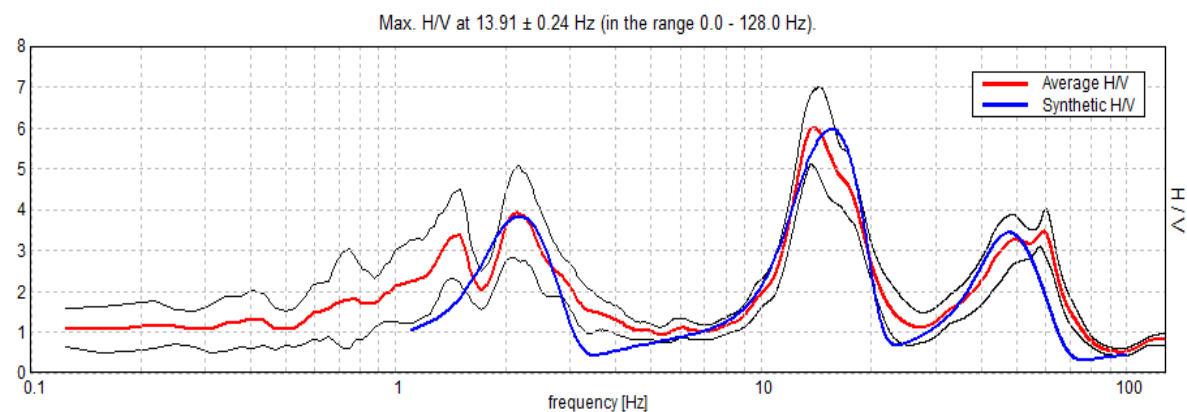
StudioSisma

Agosto 2010

Spettro di velocità da indagine sismica in array (Re.Mi. n° 1) e curve sintetiche



Spettro sismico da misura a stazione singola (H.V.S.R. n° 2) e curva sintetica



Profilo verticale onde S (Vs)

Tabella di calcolo $V_{s,30}$ dal p.c. locale

da prof. [m p.c.]	a prof. [m p.c.]	V_s [m/s]
0.0	5.0	180
5.0	8.0	450
8.0	≈ 65	520
≈ 65	Semispaio	1200

Valore calcolato di $V_{s,30} = 391$ m/s

Categoria di sottosuolo proposta: **CATEGORIA B**



**Prospezione sismica in array
(Re.Mi. n° 1) e a stazione
singola (H.V.S.R. n° 2)**

Comm.: Geol. Nicoletta Toffaletti

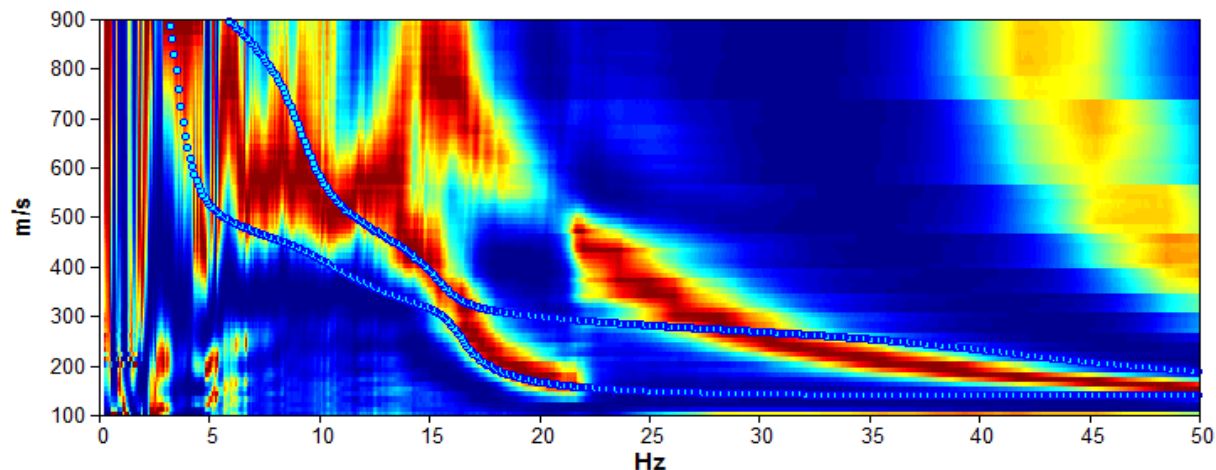
Comune di Colognola ai Colli (VERONA)

Tav. n° 3

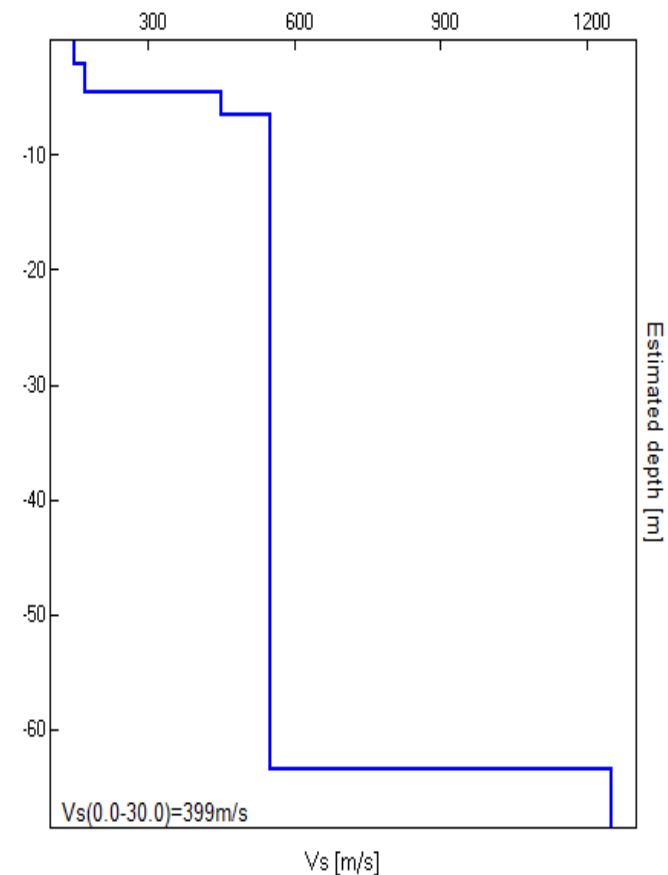
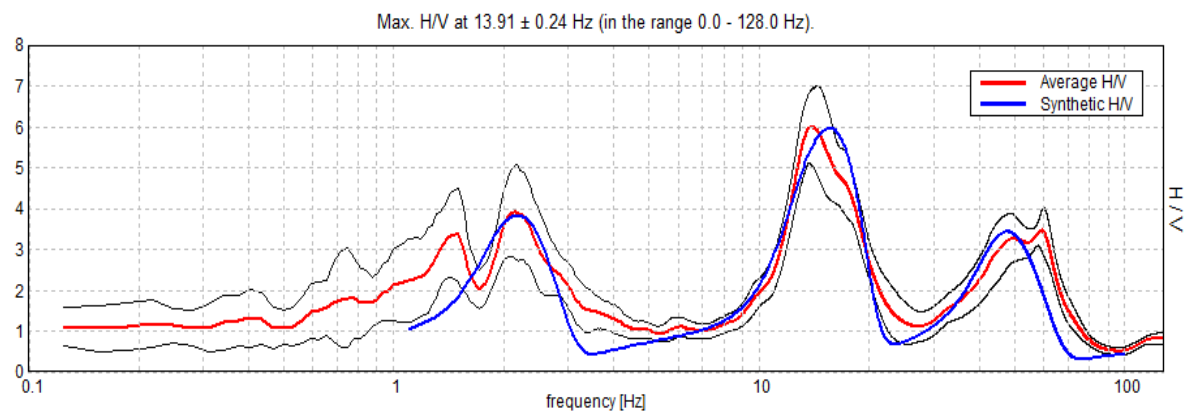
StudioSisma

Agosto 2010

Spettro di velocità da indagine sismica in array (Re.Mi. n°2) e curve sintetiche



Spettro sismico da misura a stazione singola (H.V.S.R. n°2) e curva sintetica



Profilo verticale onde S (Vs)

Tabella di calcolo $V_{s,30}$ dal p.c. locale

da prof. [m p.c.]	a prof. [m p.c.]	V_s [m/s]
0.0	2.0	150
2.0	4.5	170
4.5	7.5	450
7.5	≈ 65	550
≈ 65	Semispazio	1250

Valore calcolato di $V_{s,30} = 399$ m/s

Categoria di sottosuolo proposta: **CATEGORIA B**



**Prospezione sismica in array
(Re.MI. n°2) e a stazione
singola (H.V.S.R. n°2)**

Comm.: Geol. Nicoletta Toffaletti

Comune di Colognola ai Colli (VERONA)

Tav. n° 4

StudioSisma

Agosto 2010